



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH BEBAN PENDINGINAN TERHADAP KERJA SISTEM
REFRIJERASI CASCADE MENGGUNAKAN REFRIJERAN
CAMPURAN ETHANE DAN KARBON DIOKSIDA**

SKRIPSI

DIMAS PRADIPTA

0906605284

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH BEBAN PENDINGINAN TERHADAP KERJA SISTEM
REFRIJERASI CASCADE MENGGUNAKAN REFRIJERAN
CAMPURAN ETHANE DAN KARBON DIOKSIDA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DIMAS PRADIPTA

0906605284

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENGARUH BEBAN PENDINGINAN TERHADAP KERJA SISTEM REFRIJERASI CASCADE MENGGUNAKAN REFRIJERAN CAMPURAN ETHANE DAN KARBON DIOKSIDA

yang dibuat untuk melengkapi sebagai persyaratan menjadi sarjana teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah di publikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Skripsi ini merupakan bagian yang dikerjakan bersama saudara Iswanto Purnomo (0906604861) dengan judul **PENGARUH TEMPERATUR EVAPORASI PADA SIRKUIT TEMPERATUR TINGGI TERHADAP KERJA SISTEM REFRIJERASI CASCADE MENGGUNAKAN REFRIJERAN CAMPURAN ETHANE DAN CO₂** Sehingga harap maklum jika beberapa bagian dari buku ini yang memiliki kesamaan dengan skripsi tersebut.

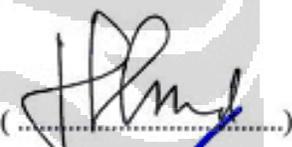
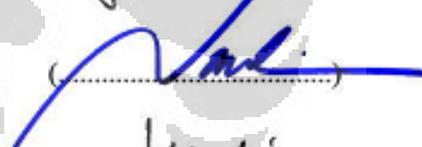
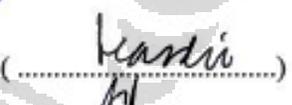
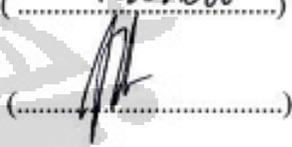
Nama : Dimas Pradipta
NPM : 0906605284
Tanda Tangan : 
Tanggal : 16 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dimas Pradipta
NPM : 0906605284
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Beban Pendinginan Terhadap Kerja
Sistem Refrijerasi Cascade Menggunakan Refrijeran
Campuran Ethane Dan Karbon Dioksida

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid ()
Penguji : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng ()
Penguji : Dr.Ir. Budiharjo, Dipl.Ing ()
Penguji : Lubi Rahadiyan, ST, M.Eng ()

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 16 Januari 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

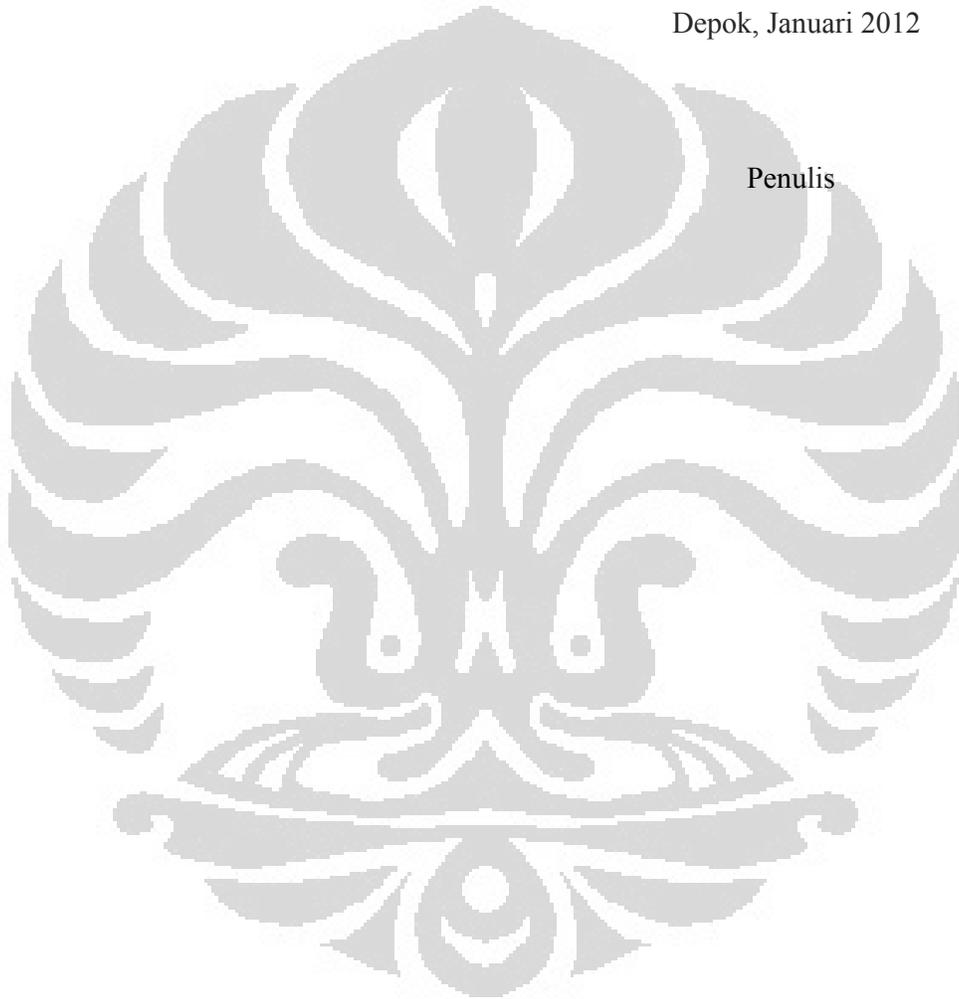
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. M. Idrus Alhamid dan Dr-Ing. Ir. Nasruddin Meng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Skripsi ini;
- 2) Orang tua, Ibunda Endah Hartini KW dan Ayahanda Ir. Iman Sulaiman, dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- 3) Amny Hernita Nafisah yang selalu menyemangati dan membantu saya “terima kasih sudah sabar dan selalu setia menanti”.
- 4) Iswanto Purnomo rekan skripsi saya “please edit before paste”, Julian Arlisdianto dan keluarga, Juniver H, Maulana Hidayat, Bang Pandi, Jibril, Baskoro PK “biji thx for helping me”, Arnas Lubis “experience shows it all”, Pak Jauhari “Mister Ali”, Pak Yuli dan Pak Darwin yang banyak membantu saya, Rekan-rekan Lab Pendingin lain yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- 5) Rekan-rekan NeverStopStudy dan KOPASKONG, Sambas, Yudha, Mamang Raksa, Marjo, Arvin, Mas Gangka “thx for Hardisk”, serta sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini,.
- 6) Dedi Darmawan, Gahara Budiwan, Tantan Esa Prayoga, Dani, Galuh, Durahman (Doel Hirez), Bang Tigor, yang selalu memberikan tempat untuk saya merenung dan bercanda tawa;

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dimas Pradipta
NPM : 0906605284
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGARUH BEBAN PENDINGINAN TERHADAP KERJA SISTEM
REFRIJERASI CASCADE MENGGUNAKAN REFRIJERAN
CAMPURAN ETHANE DAN KARBON DIOKSIDA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Januari 2012

Yang menyatakan



(Dimas Pradipta)

ABSTRAK

Nama : Dimas Pradipta
Program studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Beban Pendinginan Terhadap Kerja Sistem Refrijerasi Cascade Menggunakan Refrijeran Campuran Ethane Dan Karbon Dioksida

Kegiatan dan penelitian biomedis dibutuhkan *cold storage* yang mencapai -80°C dan untuk itu digunakan mesin refrijerasi cascade. Studi simulasi dan eksperimen sebelumnya mengindikasikan campuran karbondioksida dan ethane mampu mencapai temperatur -80°C (Darwin et.al, 2008). Namun demikian, temperatur minimum tersebut masih belum stabil. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kerja prestasi yang optimal dari sistem refrijerasi cascade dengan menggunakan campuran ethane dan karbon dioksida. Kinerja sistem refrijerasi cascade dipengaruhi oleh temperatur pada alat penukar kalor, untuk mencari kerja prestasi (COP) optimal dilakukan dengan cara menganalisa pengaruh beban pendinginan terhadap kinerja sistem refrijerasi cascade melalui variasi beban pendinginan dan varisasi panjang pipa kapiler. Temperatur evaporasi *low stage* terendah pada pengujian mencapai $-50,89^{\circ}\text{C}$. Nilai COP tertinggi adalah 0,43 yang terdapat pada pipa kapiler dengan panjang 3 meter pada beban 60 watt.

Kata Kunci : Evaporator, Beban pendinginan, Cascade, COP

ABSTRACT

Name : Dimas Pradipta
Major : Mechanical Engineering
Title : Cooling Load Effect to Performance of Cascade Refrigeration System Using Refrigerant Mixture of Ethane and Carbon Dioxide

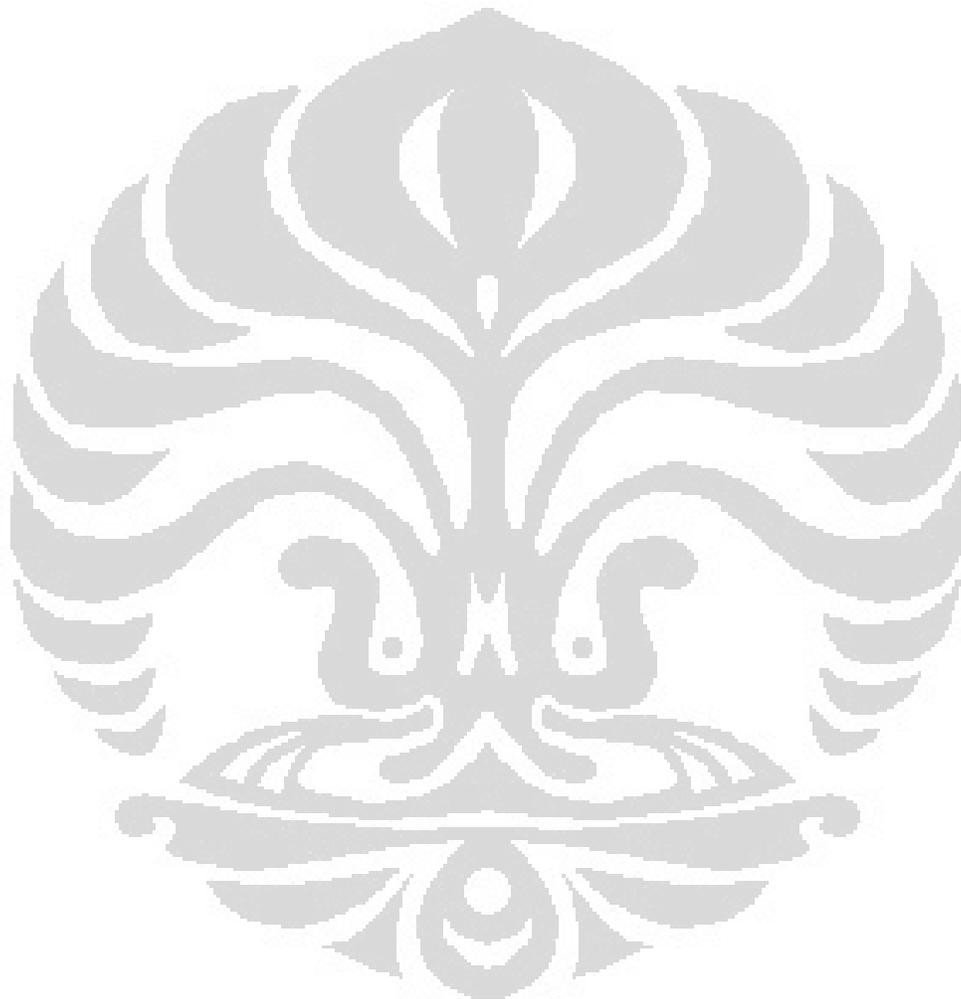
Research and activity biomedical need the cold storage that reach $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ and cascade refrigeration machine is used. Cascade refrigeration system consist of two refrigeration machine minimum that are connected to heat exchanger (ASHRAE handbook, 2006). Simulation and experimental studies before indicate mixture of carbon dioxide and Ethane can reach the temperatures $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Darwin et.al, 2008). However, the minimum temperature is not stable. The objective of this research is to find out optimal work performance from cascade refrigeration system by using the mixture of ethane and karbon dioksida. Cascade refrigeration system performance is affected by temperature at the heat exchanger. Finding out of work performance (COP) optimally performed by analyzing the influence of cooling load to cascade refrigeration system performance through cooling load and capillary tube length variationst. In testing stage, evaporation temperature the lowest of low stage is $-50.89\text{ }^{\circ}\text{C}$. The highest COP is 0.43 that can be found in the capillary tube with length of 3 meters at 60 Watts load.

Keywords : Evaporator, Cooling Load, Cascade, COP

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1 Refrijerasi dan Sistem Refrijerasi.....	7
2.2 Sistem Refrijerasi.....	8
2.3 Sistem Refrijerasi Cascade.....	11
2.4 Refrijeran.....	12
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Alat Dan Komponen Pengujian.....	19
3.2 Tes Kebocoran.....	36
3.3 Vacuum System.....	36
3.4 Charging System.....	37
3.5 Pemberian Beban Heater.....	38
3.6 Metode Pengambilan Data.....	40
BAB 4 PEMBAHASAN.....	42
4.1 Komposisi Refrijeran Sirkuit Temperatur Rendah.....	42
4.2 Tekanan dan Temperatur sirkuit rendah.....	43
4.3 Pengaruh Beban Pendinginan Pada Kerja Sistem Refrijerasi Cascade ..	45

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Kompresi Uap.....	7
Gambar 2.2 Komponen Utama Sistem Refrijerasi Kompresi Uap.....	8
Gambar 2.3 Sistem Refrijerasi Cascade Dua Tingkat	12
Gambar 2.4 Diagram Fase Tekanan-Temperatur CO ₂	15
Gambar 2.5 Diagram T-x Campuran Zeotropes.....	17
Gambar 2.6 Diagram T-x Campuran Azeotropes.....	17
Gambar 3.2 <i>Wiring Diagram</i> Pada Sistem Refrijerasi <i>Cascade</i>	20
Gambar 3.3 <i>Condensing unit High Stage</i>	21
Gambar 3.4 <i>Condensing unit Low Stage</i>	21
Gambar 3.5 Kondensor pada <i>Condensing Unit</i>	22
Gambar 3.6 Cascade Heat Exchanger.....	23
Gambar 3.7 Alat Ekspansi.....	24
Gambar 3.8 <i>Filter Dryer</i>	24
Gambar 3.9 Akumulator	25
Gambar 3.10 <i>Oil Separator</i>	26
Gambar 3.11 Pipa Tembaga.....	27
Gambar 3.12 <i>Shut Off Valve</i>	27
Gambar 3.13 Evaporator <i>Low Stage</i>	28
Gambar 3.14 <i>Pressure Gauge</i>	29
Gambar 3.15 <i>Pressure Transmitter</i>	29
Gambar 3.16 Termokopel	30
Gambar 3.17 Coriolis.....	31
Gambar 3.18 Unit Komputer.....	32
Gambar 3.19 Tampilan <i>front panel</i> dan <i>block diagram</i> labview	33
Gambar 3.20 National Instrument	34
Gambar 3.21 Power Supply	34
Gambar 3.22 Tabung Refrijeran R290.....	35
Gambar 3.23 Tabung Refrijeran R744 dan R170.....	35
Gambar 3.24 Pompa Vakum	37

Gambar 3.25 Timbangan Digital	37
Gambar 3.26 Dimmer	38
Gambar 3.27 Amperemeter	38
Gambar 3.28 Skema Diagram Metodologi Penelitian	40
Gambar 4.1 Tekanan <i>Discharge LS</i> terhadap Beban <i>Heater</i>	43
Gambar 4.2 Tekanan Suction LS terhadap Beban <i>Heater</i>	44
Gambar 4.3 Temperatur kabin terhadap Beban Heater	44
Gambar 4.4 Mass Flow terhadap Beban Pendinginan	45
Gambar 4.5 Diagram PH Sistem Refrigerasi Cascade	46
Gambar 4.6 Diagram TS Sistem Refrijerasi Cascade	47
Gambar 4.7 Diagram PH Sistem Refrijerasi Cascade	47
Gambar 4.8 Perbandingan COP Terhadap Beban	48
Gambar 4.9 Pengaruh Beban Pendinginan Terhadap Laju Aliran	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pilihan refrigeran pengganti alternatif untuk CFC.....	14
Tabel 3.1 Spesifikasi Kompresor pada <i>Condensing Unit</i>	22
Tabel 3.2 Spesifikasi Kondensor pada <i>Condensing Unit</i>	22
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i>	23
Tabel 3.4 Spesifikasi Alat Ekspansi	24
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Filter Dryer</i>	25
Tabel 3.6 Spesifikasi <i>Akumulator</i>	25
Tabel 3.7 Spesifikasi <i>Oil Separator</i>	26
Tabel 3.8 Spesifikasi Evaporator.....	28
Tabel 3.9 Spesifikasi <i>Pressure Gauge</i>	29
Tabel 3.10 Spesifikasi <i>Pressure Transmitter</i>	30
Tabel 3.11 Spesifikasi Termokopel	31
Tabel 3.12 Spesifikasi Coriolis.....	31
Tabel 3.13 Spesifikasi Komputer	32
Tabel 3.14 Spesifikasi National Instrument.....	34
Tabel 3.15 Spesifikasi <i>Power Supply</i>	35
Tabel 3.16 Spesifikasi <i>Ampere meter</i>	39
Tabel 4.1 <i>Critical Properties</i> Refrijeran Campuran R744/R170	42
Tabel 4.2 Parameter Dari Karbondioksida Dan Ethane.....	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kemajuan teknologi berkembang sangat pesat dalam kehidupan manusia. Salah satu teknologi tersebut adalah alat pengkondisian udara atau yang biasa disebut dengan sistem refrijerasi. Pada hakekatnya refrijerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang bertemperatur lebih rendah sehingga didapatkan tercapainya suatu temperatur dan dipertahankannya temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan.

Pada awalnya refrijerasi sudah digunakan manusia sejak zaman dahulu kala, yaitu dengan menggunakan gumpalan es yang disimpan pada musim dingin dan digunakan pada musim panas.

Seiring dengan kemajuan teknologi, sistem refrijerasi terus mengalami perkembangan. Hingga kini pemanfaatan dari refrijerasi dapat dinikmati hampir dalam semua aspek kehidupan. Contohnya, pemanfaatan efek refrijerasi pada suatu gedung atau ruangan perkantoran dalam memberikan kenyamanan kepada penghuninya ataupun dalam suatu industri untuk menjaga kualitas proses dan produksinya.

Dalam beberapa bidang industri seperti, pengawetan makanan, perminyakan, pengolahan bahan kimia, dibutuhkan temperatur ruangan yang sangat rendah berkisar dari -30°C hingga -50°C . Bahkan dalam kegiatan biomedis dibutuhkan temperatur yang lebih rendah lagi hingga -80°C .

Untuk mendapatkan kondisi tersebut dapat kita gunakan sistem refrijerasi satu tingkat yang menggunakan satu kompresor, sistem bertekanan banyak menggunakan lebih dari satu kompresor seperti yang terdapat pada sistem refrijerasi bertingkat (*multistage*) atau kombinasi dua atau lebih sistem refrijerasi tunggal (*cascade*) dimana satu sistem sebagai *high-stage* (HS) dan lainnya sebagai *low-stage* (LS).

Dalam kegiatan dan penelitian biomedis yang menuntut dibutuhkannya *cold storage* bertemperatur sangat rendah, disyaratkan mencapai temperatur -80°C , sebagai tempat penyimpanan spesimen biomedis dalam jangka waktu lama.

Penggunaan sistem refrijerasi siklus tunggal hanya mampu mencapai pendinginan efektif sekitar -40°C , dan efisiensinya memburuk di bawah -35°C karena turunnya tekanan evaporasi. Sehingga, untuk dapat menjangkau temperatur yang lebih rendah, digunakan sistem bertekanan banyak yang menggunakan lebih dari satu kompresor seperti yang terdapat pada sistem refrijerasi bertingkat (*multi stage*) atau kombinasi dua atau lebih sistem refrijerasi tunggal (*cascade*).

Sistem refrijerasi cascade minimal terdiri dari dua sistem refrijerasi yang bekerja secara mandiri. Dua sistem refrijerasi ini dihubungkan penukar kalor cascade di mana kalor yang dilepaskan kondenser di sistem temperatur rendah (*low-stage temperature/LS*) diserap evaporator dari sistem temperatur tinggi (*high-stage temperature/HS*).

Dalam sistem refrijerasi, dibutuhkan media yang digunakan untuk memindahkan atau melepaskan panas dari suatu ruangan ke luar ruangan atau sistem, yang biasa disebut dengan refrijeran. Refrijeran berubah fase dari cair (*liquid*) menjadi uap (*vapour*) selama proses penyerapan panas dan mengondensasi menjadi *liquid* kembali ketika melepaskan panas.

Selama ini CFC (*chlorofluorocarbon*) dan HCFC (*hydrochlorofluorocarbon*) digunakan secara luas sebagai refrijeran. Hal ini dikarenakan CFC mempunyai banyak keuntungan pada berbagai segi, seperti memiliki properti thermal dan fisik yang baik sebagai refrijeran, tidak mudah terbakar, tidak beracun, sesuai untuk sebagian besar komponen sistem refrijerasi dan ekonomis. Tetapi ternyata disisi lain, CFC belakangan diketahui bertanggung jawab terhadap penipisan lapisan ozon yaitu dengan dilepaskannya atom klorin ke atmosfer (Nasruddin et al., 2006). Sehingga diperlukan dengan segera refrijeran alternatif sebagai pengganti yang ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Selama ini CFC (*chlorofluorocarbon*) dan HCFC (*hydrochlorofluoro carbon*) digunakan secara luas sebagai refrijeran. Namun CFC belakangan diketahui bertanggung jawab terhadap penipisan lapisan ozon yaitu dengan dilepaskannya atom klorin ke atmosfer (Nasruddin et al., 2006). Sehingga

diperlukan dengan segera refrijeran alternatif sebagai pengganti yang ramah lingkungan, seperti campuran ethane dan karbon dioksida sebagai pengganti R12.

Evaporator sebagai alat penukar kalor pada sistem refrigrasi memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada refrijeran yang digunakannya. Rancangan evaporator yang ideal untuk refrigran baru pun diperlukan untuk mencapai hasil yang optimal, salah satu parameter dalam perancangan evaporator tersebut adalah kapasitas beban pada evaporator.

1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini memiliki tujuan mencari koefisien prestasi yang optimal sistem refrijerasi cascade dengan campuran refrijeran ethane dan karbon dioksida dengan melakukan variasi panjang pipa kapiler yang disertai dengan variasi beban yang menggunakan *heater*.

1.4 Batasan Masalah

Hal yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah kecenderungan pembebanan yang mempengaruhi nilai koefisien prestasi (COP) dari sistem refrijerasi *cascade*, dengan asumsi dan batasan sebagai berikut :

1. Refrijeran yang digunakan adalah propane pada *high stage* (HS) sebesar 1200 gram dan pada *low stage* (LS) menggunakan campuran carbondioksida (CO_2) sebesar 60 gram dan ethane (C_2H_6) sebesar 140 gram
2. Katup ekspansi pada *high stage* menggunakan *needle valve*.
3. Katup ekspansi pada *low stage* menggunakan pipa kapiler diameter 0,064 inch dengan panjang yang divariasikan 1 (satu), 3 (tiga), dan 6 (enam) meter.
4. Variasi beban yang dignakan pada kabin evaporator low stage adalah 20, 30, 40, 50, dan 60 Watt.
5. Jenis kompresor *high stage* dan *low stage* yang digunakan adalah jenis kompresor untuk refrijeran R-22.
6. Sistem dianggap siklus ideal.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal yang berasal dari dosen maupun perpustakaan.

2. Membuat Sistem Refrijerasi *Cascade*

Pembuatan ini meliputi rancang bangun sistem pemipaan dan alat ukur tekanan dan temperatur, pembuatan *circulating thermal bath*, serta pemasangan *Condensing unit* (kompresor, kondenser, *liquid receiver*), akumulator, alat penukarkan kalor (Plate Heat Exchanger) dan evaporator pada bagian *High-Stage* dan *Low-Stage*, tabung coriolis dan *filter dryer*.

3. Pengadaan Alat

Proses ini meliputi persiapan dan pembelian terhadap alat-alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian diantaranya tabung coriolis dengan merk Yokogawa W1010, pipa, kawat las, termokopel, *pressure transmitter*, *pressure gauge*, *power meter*, termokopel, perekat armalflek, panel listrik, *condensing unit*, kabel-kabel, amperemeter, voltmeter, satu set komputer, seperangkat *Data Acquisition System* (DAQ) merk *National Instrument* (NI) 9211 dan 9203, timbangan digital, mesin vakum, dan refrijerasi R290/R744

4. Kalibrasi Alat Uji

Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur yang akan kita gunakan dengan alat ukur standar, sebelum pengujian dilakukan dilakukan kalibrasi terhadap alat ukur tekanan dan temperatur agar data yang dihasilkan lebih akurat.

5. Pengecekan sistem

Setelah semua alat terpasang pada sistem proses selanjutnya adalah pengecekan yang meliputi tes kebocoran, vakum, dan pengetesan kelistrikan.

6. Pengujian sistem

Pengujian dilakukan dengan memantau data dari alat ukur seperti *pressure gauge*, *pressure transmitter*, *National Instrument*, powermeter, amperemeter, dan voltmeter. Proses pengujian ini meliputi pengambilan data pada alat ukur.

7. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Data yang didapatkan dari pengujian kemudian diolah dan dianalisa. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian,

1.6 Sistematika Penulisan

Agar laporan tugas akhir ini memiliki struktur yang baik dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik, maka penulisan tugas akhir ini akan mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi tentang latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori meliputi: dasar teori tentang sistem refrijerasi dan dasar pemilihan refrijeran. Dasar teori yang ada di kutip dari beberapa buku dan referensi lain yang mendukung dalam penulisan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang deskripsi alat pengujian yang digunakan, metode persiapan dan metode pengambilan data yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

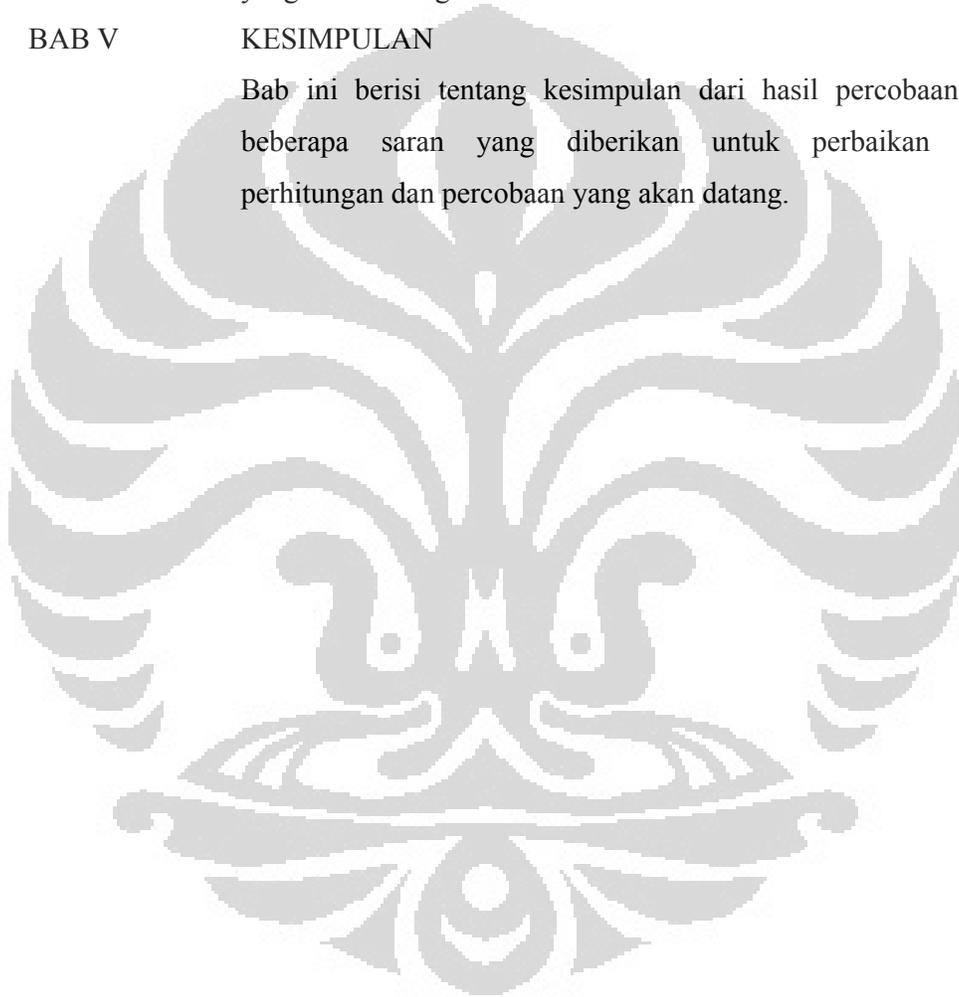
Bagian ini berisikan data-data dan analisa dan hasil yang diperoleh dari proses pengambilan data dan pengujian.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil percobaan dan beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan yang akan datang.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil percobaan dan beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan pada perhitungan dan percobaan yang akan datang.



BAB 2

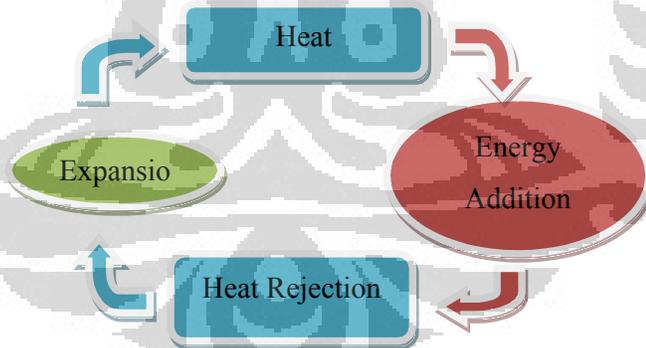
DASAR TEORI

2.1 Refrijerasi dan Sistem Refrijerasi

Pada dasarnya refrijerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang bertemperatur lebih rendah sehingga didapatkan tercapainya suatu temperatur dan dipertahankannya temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan. Penyerapan serta pemindahan kalor ini menggunakan kemampuan *heat transfer* dari suatu medium yang disebut refrijeran.

Untuk mempertahankan temperatur pada suatu ruangan, penyerapan kalor oleh suatu sistem refrijerasi harus dilakukan secara terus menerus atau *continue* dan kemudian dilepaskan keluar sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan melalui beberapa proses yang disebut dengan siklus refrijerasi. Karena proses penyerapan dan pemindahan kalor harus dilakukan secara terus menerus maka siklus ini haruslah tertutup dan dapat beroperasi secara *continue*.

Salah satu siklus refrijerasi yang umum digunakan adalah siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*). Siklus kompresi uap terdiri dari 4 proses, yaitu:

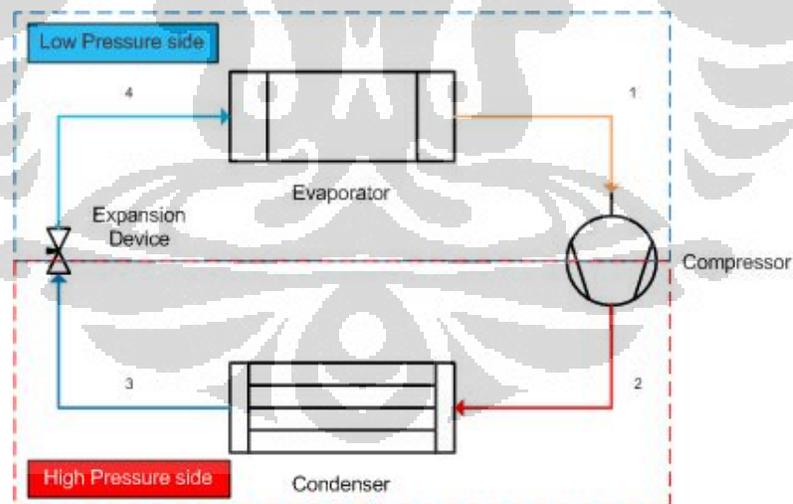


Gambar 2.1 Siklus Kompresi Uap

- *Heat Absorption* : Proses penyerapan kalor oleh refrijeran dalam bentuk dari suatu ruangan. Penyerapan kalor menyebabkan refrijeran berubah fase dari *liquid* (cair) menjadi *vapour* (uap). Dalam fase uap, refrijeran juga tetap menerima kalorsehingga temperaturnya juga akan meningkat. Jadi

- pada proses ini refrigeran berubah fase dari cair dengan temperatur rendah menjadi uap dengan temperatur tinggi.
- *Energy Addition* : Penambahan energi terhadap refrigeran, agar dapat menuju proses berikutnya. Refrigeran dalam fase uap di kompresi sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Proses ini disebut juga sebagai langkah kompresi.
 - *Heat Rejection* : Pelepasan kalor dari proses penyerapan kalor pada refrigeran keluar sistem refrigerasi. Selama proses pelepasan kalor, temperatur dari refrigeran menurun dan menyebabkan perubahan fase dari uap menjadi cair kembali.
 - *Expansion* : Refrigeran dalam fase cair di ekspansi sehingga terjadi penurunan tekanan dan temperatur secara drastis. Setelah proses ini refrigeran berada dalam kondisi fase cair dengan temperatur rendah. Dalam kondisi ini refrigeran siap untuk menyerap kalor dan memulai siklus kembali.

2.2 Sistem Refrigerasi



Gambar 2.2 Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Komponen utama dalam sistem refrigerasi kompresi uap sederhana siklus tunggal seperti yang digambarkan pada gambar II.2.diatas adalah:

1. Evaporator : Evaporator adalah jenis dari penukar kalor (*heatexchanger*) sebagai media pemindahan kalor melalui permukaan evaporator agar refrijeran cair menguap dan menyerap panas dari suatu ruangan. Refrijeran yang berada dalam fase campuran cair jenuh dan uap menyerap kalor sehingga berubah menjadi uap. *Heattransfer* terjadi karena temperatur refrijeran yang lebih rendah daripada temperatur disekitar evaporator.
2. Kompresor : Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam sistem refrijerasi. Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrijeran dari tekanan dan temperatur rendah menjadi tekanan dan temperatur tinggi, refrijeran dalam fase uap dikompresikan pada alat ini. Dengan adanya kompresi ini, maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (*discharge*) dengan sisi masuk (*suction*) yang menyebabkan refrijeran dapat mengalir dalam sistem refrijerasi. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrijeran dan suhu lingkungannya.
3. Kondenser : Kondenser adalah suatu alat penukar kalor dimana refrijeran melepas atau membuang kalor ke media pendingin seperti udara atau air. Refrijeran didalam kondenser berada pada keadaan uap super panas melepas kalor sehingga berubah fase menjadi cair. Untuk membuang kalor yang terkandung dalam refrijeran yang berada didalam kondenser diperlukan cooling medium. Sebuah kondenser harus mampu membuang kalor tersebut ke *cooling medium* yang digunakan oleh kondensernya. Sesuai dengan jenis *cooling medium* yang digunakan maka kondenser dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu:
- a. *air cooled condenser*, menggunakan media udara sebagai pendinginnya.

b. *watercooledcondenser*, menggunakan media air sebagai pendinginnya.

c. *evaporativecondenser*, menggunakan media campuran air dan udara sebagai pendinginnya.

4. *ExpansionDevice* : Refrijeran pada fase cair dari kondenser yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh alat ekspansi. Refrijeran berbentuk cair diekspansi yang menyebabkan fasenya berubah menjadi campuran cair jenuh & uap (*a saturated liquid-vapor mixture*) dan tekanannya turun. Ketika terjadi penurunan tekanan, temperaturnya juga turun. Fungsi *expansion device* adalah :

- a. Untuk menakar refrijeran cair dari saluran liquid line ke evaporator pada jumlah yang tepat sesuai kapasitas evaporator
- b. Untuk menjaga perbedaan tekanan antara tekanan kondensasi dan tekanan evaporasi tetap konstan, agar refrijeran cair yang diuapkan di evaporator selalu berada pada tekanan rendah sesuai yang diinginkan dan sekaligus menjaga tekanan tinggi di sisi kondenser.

Ada 6 (enam) macam alat ekspansi, yaitu :

1. *Manual Expansion Valve*

Beban pendinginan yang diinginkan diatur melalui katup ekspansi yang diatur secara manual.

2. *Capillary Tubes* (Pipa kapiler)

Pipa kapiler adalah pipa panjang dengan diameter kecil dan konstan, berfungsi untuk menurunkan tekanan.

3. *Automatic Expansion Valve* (AEV)

Disebut juga katup ekspansi tekanan konstan, dimana katup digerakkan oleh tekanan didalam evaporator, supaya menjaga tekanan didalam evaporator konstan.

4. *Thermostatic Expansion Valve* (TEV)

Jumlah aliran refrijeran diatur secara otomatis yang menyesuaikan dengan beban pendinginannya. Dengan sensor temperatur yang dipasang setelah evaporator maka jumlah aliran refrijeran dapat diatur secara otomatis.

5. *Float Type Expansion Valve* :

a) *High side float valve*

Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan tinggi dari sistem, yaitu pada saluran cairan (*liquidline*).

b) *Low side float valve*

Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan rendah dari sistem, yaitu didalam tabung evaporator.

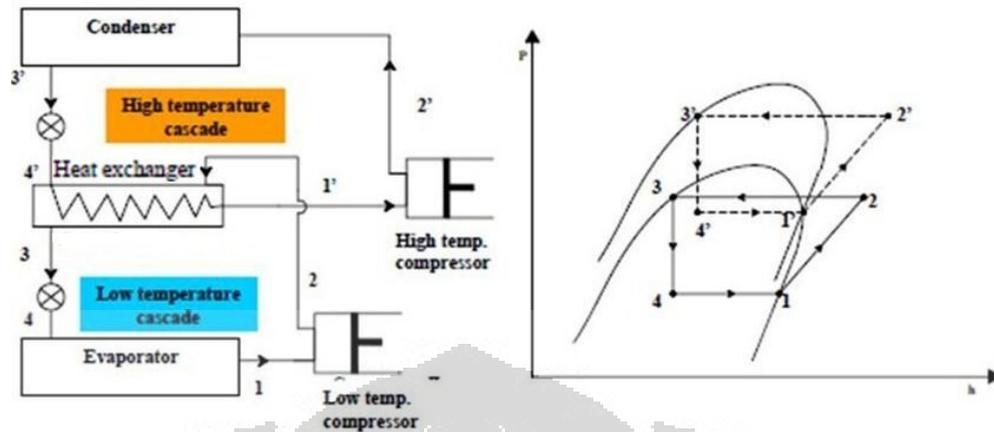
6. *Electronic Expansion Valve*

Jumlah aliran refrijeran diatur secara otomatis menyesuaikan beban pendinginannya dengan menggunakan arus listrik dan sensor yang dipasang setelah evaporator.

2.3 Sistem Refrijerasi Cascade

Pada beberapa bidang industri dan kegiatan biomedis dibutuhkan temperatur pendinginan yang sangat rendah. Penelitian jaringan sel kanker payudara misalnya, agar tidak rusak maka harus disimpan dalam *freezer* -80°C (Tianing, 2002). Untuk mencapai temperatur pendinginan yang sangat rendah tersebut maka dibutuhkan pula perbedaan tekanan yang sangat tinggi, yang berarti kerja kompresor yang semakin berat. Perbedaan tekanan yang sangat tinggi yang dimiliki kompresor mengakibatkan efisiensi dari sistem refrijerasi tersebut menjadi rendah. Sehingga diperlukan sistem refrijerasi yang mempunyai dua atau lebih siklus refrijerasi.

Sistem refrijerasi cascade merupakan sistem refrijerasi yang terdiri dari dua model atau lebih siklus refrijerasi tunggal. Pada tingkat pertama biasa disebut sebagai siklus temperature tinggi (*High Stage/HS*) dan tingkat yang kedua disebut siklus temperature rendah (*Low Stage/LS*).



Gambar 2.3 Sistem Refrijerasi Cascade Dua Tingkat

(Sumber: Refrijerasi & Air Conditioning, EE IIT, Kharagpur, India)

Pada gambar II.3. di atas, dua siklus refrijerasi kompresi uap dihubungkan dengan suatu *heat exchanger*. *Heat exchanger* tersebut berfungsi sebagai evaporator pada siklus yang pertama (*High Temperatur Cascade/HS*) dan berfungsi sebagai kondenser pada siklus yang kedua (*Low Temperatur Cascade/LS*).

Pada prinsipnya, efek refrijerasi yang dihasilkan oleh evaporator HS dimanfaatkan untuk menyerap kalor yang dilepas oleh kondenser LS sehingga dapat dihasilkan temperatur yang sangat rendah pada evaporator LS.

2.4 Refrijerasi

Dalam suatu sistem refrijerasi, dibutuhkan media yang digunakan untuk menyerap, memindahkan dan melepaskan panas dari suatu ruangan ke luar ruangan atau sistem, yang biasa disebut dengan refrijerasi. Refrijerasi berubah fase dari cair (*liquid*) menjadi uap (*vapour*) selama proses penyerapan panas dan mengondensasi menjadi cair (*liquid*) kembali ketika melepaskan panas.

Suatu refrijerasi harus memenuhi beberapa persyaratan, sebagian dari persyaratan tersebut tidak secara langsung berhubungan dengan kemampuannya pada perpindahan kalor. Stabilitas kimia pada beberapa kondisi tertentu saat digunakan merupakan karakteristik yang paling penting. Beberapa sifat yang berhubungan dengan keamanan refrijerasi seperti tidak mudah terbakar (*non-flammable*) dan tidak beracun saat digunakan merupakan sifat yang juga

dibutuhkan. Harga, ketersediaan, efisiensi, dan kecocokan dengan pelumas kompresor dan bahan-bahan dari komponen-komponen sistem refrijerasi juga harus diperhatikan. Pengaruh refrijeran terhadap lingkungan apabila refrijeran tersebut bocor dari suatu sistem harus pula dipertimbangkan.

Selama ini CFC (*chloro-fluoro-carbon*) dan HCFC (*hydro-chloro-fluoro-carbon*) digunakan secara luas sebagai refrijeran. Hal ini dikarenakan CFC mempunyai banyak keuntungan pada berbagai segi, seperti memiliki properti thermal dan fisik yang baik sebagai refrijeran, tidak mudah terbakar, tidak beracun, sesuai untuk sebagian besar komponen sistem refrijerasi dan ekonomis. Tetapi ternyata disisi lain, CFC belakangan diketahui bertanggung jawab terhadap penipisan lapisan ozon yaitu dengan dilepaskannya atom klorin ke atmosfer (Nasruddin et al., 2006). Sehingga diperlukan dengan segera refrijeran alternatif sebagai pengganti yang ramah lingkungan.

Pada sistem refrijerasi cascade, di sirkuit temperatur tinggi digunakan refrijeran yang umum digunakan yakni ammonia (R717), Propane (R290), Propylene (R1270), Isobutan (R600a) atau R404A (Gettu, 2008). Untuk temperatur kerja 15°C s/d -25°C , Isobutane (R600a) merupakan pilihan refrijeran yang menghasilkan kinerja tertinggi bila digunakan di sirkuit temperatur tinggi (Nasruddin, 2009). Sedangkan untuk temperatur rendah -40°C s/d -70°C , dipilih refrijeran tekanan tinggi dengan densitas uap tinggi (ASHRAE Handbook, 2006). Tetapi hanya sedikit refrijeran yang memenuhi syarat ini. Selama ini umumnya R13 dan R503a yang dipakai namun, refrijeran ini merupakan refrijeran CFC, yang menurut Protokol Montreal pada 2010 tidak dapat dipergunakan lagi.

Semenjak disepakatinya protokol Montreal dan Kyoto, terdapat dua kriteria yang harus dipenuhi suatu jenis refrijeran agar dapat digunakan secara aman dan komersial. Dua kriteria tersebut adalah ODP (*Ozone Depletion Potential*) merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrijeran terhadap kerusakan ozon dan GWP (*Global Warming Potential*) merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrijeran terhadap pemanasan global.

Tabel 2.1 Pilihan refrijeran pengganti alternatif untuk CFC

Refrigerant	Composition	Normal Boiling Point (NBP) (°C)*	Ozone Depletion Potential (ODP) (R11=1)	Global Warming Potential (GWP) (CO ₂ =1)	Retrofit or New
Example Candidate Replacements for CFC-11					
CFC-11		23.8	1.0	3800	
HCFC-123		27.9	0.020	90	Both
HCFC-141b		32.2	0.110	630	New
HFC-245fa		15.3	0	900	New
n-pentane		36.19	0	0	Both
Example Candidate Replacements for CFC-114					
CFC-114		3.78	0.8	9300	
HCFC-124		-13.2	0.022	480	Both
HFC-134		4.67	0	1300	New
R600		-0.45	0	0	Both
Example Candidate Replacements for CFC-12					
CFC-12		-29.79	1	8100	
HFC-134a		-26.1	0	1300	New
R401A	R22/152a/124 (53/13/34)	-33.0/6.3	0.037	1100	Both
R409A	R22/124/142b (60/25/15)	-34.3/8.5	0.048	1400	Both
propane-ethane	R290/170 (43/57)	-31.9/7.9	0	3	Both
Example Candidate Replacements for HCFC-22					
HCFC-22		-40.75	0.055	1700	
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	-44.0/7.2	0	1600	Both
R410A	R32/125	-52.7/-0.1	0	1900	New
	R23/32/134a	-43.0/10.2	0	1600	New
propane-ethane	R290/170 (95/5)	-49.3/7.9	0	3	Both
Example Candidate Replacements for R502					
R502	CFC115/HCFC22 (48.8/51.2)	-45.6 azeo		5500	
R404a	R125/143a/134a (44/52/4)	-46.5/0.8	0	3700	Both
R507	R125/143a (50/50)	-46.7 azeo	0	3800	Both
	R32/125/143a (10/45/45)	-49.7/0.9	0	3500	Both
propane-ethane	R290/170 (95/5)	-49.3/7.9	0	3	Both
Other Options - Natural Refrigerants					
Air			0	0	
Water			0	?	
Ammonia			0	0	
Carbon dioxide			0	1	

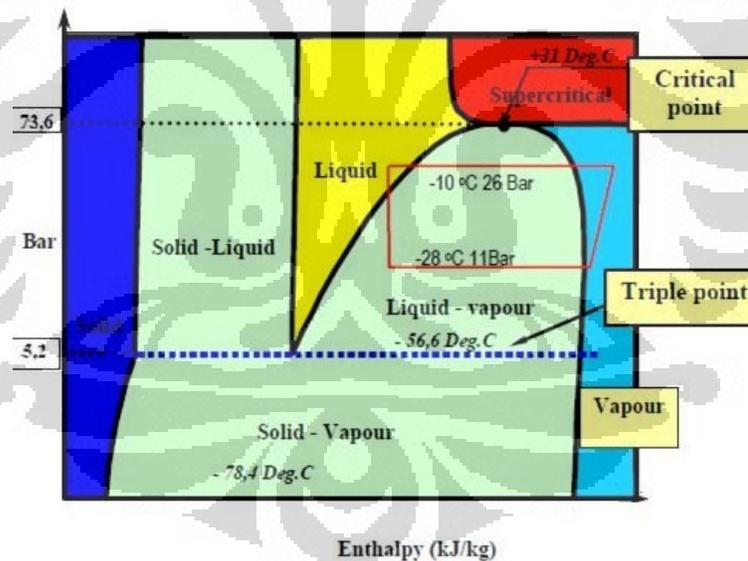
* or bubble point temperature glide for mixtures. Temperature glide = $T_{\text{dew}} - T_{\text{bubble}}$

(Sumber: Refrijeran & Air Conditioning, EE IT, Kharagpur, India)

Penggunaan refrijeran alternatif golongan HFC (*Hydro-fluoro-carbon*) seperti R23, R508B dan R508A untuk menggantikan R13 untuk jangka panjang kini sedang dipertanyakan. Hal ini berkaitan dengan kontribusi HFC terhadap efek rumah kaca (Wu, 2007). Oleh karena itu, untuk jangka panjang perlu dicari refrijeran alternatif baru bebas terhadap zat halogen yang diarahkan pada penggunaan refrijeran-refrijeran alamiah semisal karbondioksida (CO₂), amonia atau hidrokarbon.

Selain ramah terhadap lingkungan, karbondioksida dirasa masih lebih menguntungkan dibandingkan dengan amonia atau hidrokarbon. Hal ini dikarenakan refrijeran karbondioksida tidak mudah terbakar, tidak mengandung racun, murah dan sesuai dengan pelumas dan peralatan pada sistem refrijerasi.

Namun demikian, penggunaan karbondioksida sebagai refrijeran dibatasi oleh tingginya tekanan dan tingginya temperatur *triple* (5,2 bar dan $-56,6^{\circ}\text{C}$). Karbondioksida cair terbentuk hanya pada tekanan di atas 5.1 atm (abs). Tekanan dan temperatur dalam sistem refrijerasi tidak boleh lewat dibawah tekanan dan temperatur *triple* (gambar II.4.), apabila CO_2 berada dibawah tekanan dan temperatur *triple* maka karbondioksida akan berubah secara langsung dari fase gas ke fase padat yang disebut deposisi atau dari fasa padat ke fasa gas melalui sublimasi (terbentuk *dry ice*) dan hal ini tidak diinginkan. Hal inilah yang menghalangi penggunaan karbondioksida untuk bagian temperatur rendah pada sistem refrijerasi cascade. Solusi untuk mengatasi kekurangan ini diantaranya adalah dengan mencampurkan karbondioksida dengan refrijeran yang lain.



Gambar 2.4 Diagram Fase Tekanan-Temperatur CO_2

sumber: wikipedia.org/carbondioxide.htm

Menurut Cox (2007), performa terbaik refrijeran hidrokarbon dapat di representasikan dengan parameter-parameter sebagai berikut:

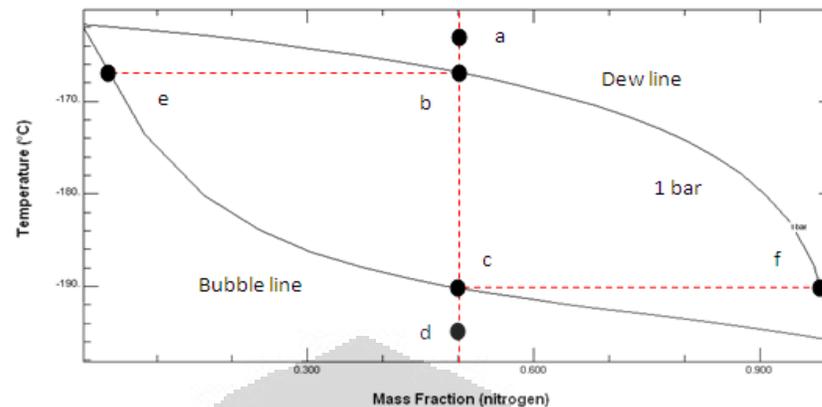
- Rasio kompresi yang rendah (dalam kaitan dengan tekanan pengisapan (*suction*) tinggi dan rendahnya tekanan *discharge* pada temperatur operasi)
- Tingginya angka pemindahan kalor yang pada alat penukar kalor (karena properti yang baik dari cairan *fluid thermal* dan transport)
- Berkurangnya kerugian tekanan pada sistem (karena rendahnya densitas dan viskositas refrijeran)

Hidrokarbon lebih baik dari refrijeran HFC dalam semua aspek selain dari *flammabilitas* (mudah terbakar). Hal inilah yang menyebabkan hidrokarbon tidak digunakan secara luas. Solusi untuk mengatasi kekurangan ini diantaranya adalah dengan mencampurkan karbondioksida dengan refrijeran yang lain seperti propane. Sehingga resiko *flammabilitas* (mudah terbakar) dapat dikurangi seiring dengan dikurangnya penggunaan hidrokarbon.

Campuran refrijeran secara luas dapat digolongkan ke dalam dua kelompok berdasarkan perubahan suhu selama proses kondensasi atau penguapan yaitu :

1. Campuran zeotropis

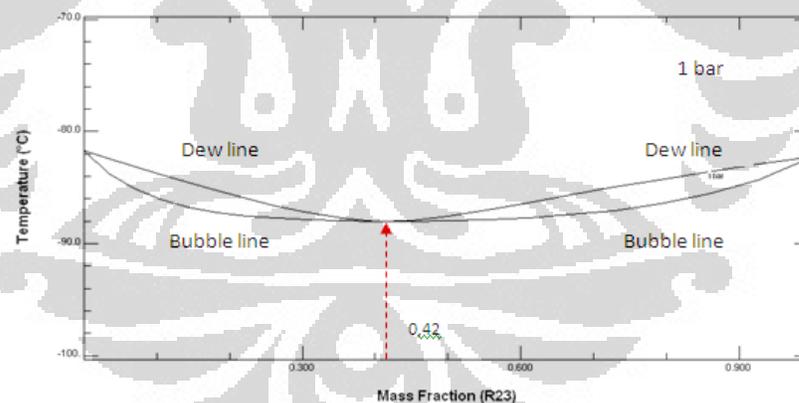
Contoh campuran zeotropes antara nitrogen dan methane. Pada saat nitrogen memiliki fraksi 0,5 , campuran dalam keadaan superheated vapor pada titik a, saturated vapor pada titik b, saturated liquid pada titik c dan subcooled liquid pada titik d. Komposisi equilibrium dari vapor dan liquid akan berbeda pada wilayah 2 fase. Contohnya saat fraksi dari vapor pada keadaan equilibrium dengan liquid pada titik c akan lebih besar dari 0,5 (titik f), saat fraksi dari liquid pada keadaan equilibrium dengan vapor pada titik b akan lebih kecil dari 0,5 (titik e). Sehingga campuran zeotropes didefinisikan sebagai campuran dimana fraksi dari coexisting phase tidak sama.



Gambar 2.5 Diagram T-x Campuran Zeotropes

2. Campuran azeotropis

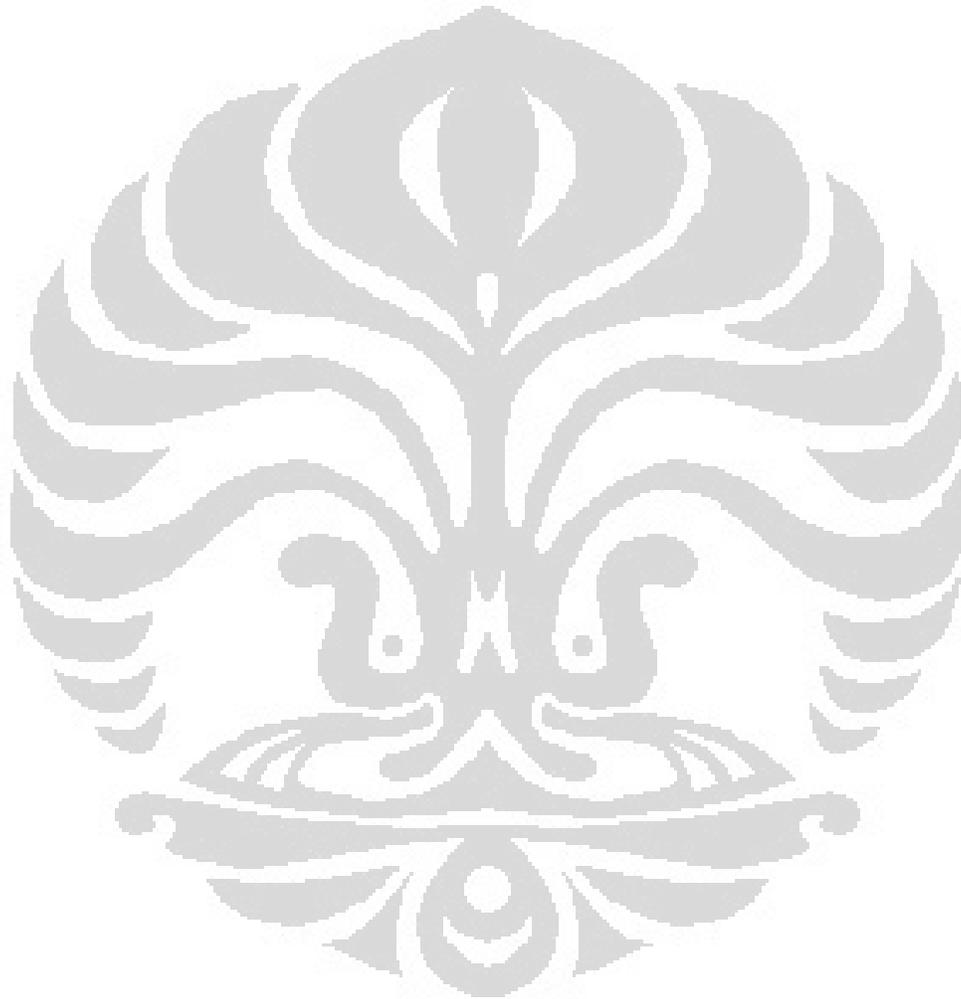
Contoh campuran azeotropes antara R23 dan R13. Gambar dibawah ini menunjukkan variasi identik dari *bubble* dan *dew point temperatures* dari sebuah campuran azeotropes. Glide dari refrijeran menjadi nol saat fraksi R23 dalam campuran sebesar 0,42. Fraksi dari fase *vapor* dan *liquid* memiliki nilai yang sama pada kondisi tersebut. Campuran azeotropes biasanya digunakan untuk *constant-temperature refrigeration*.



Gambar 2.6 Diagram T-x Campuran Azeotropes

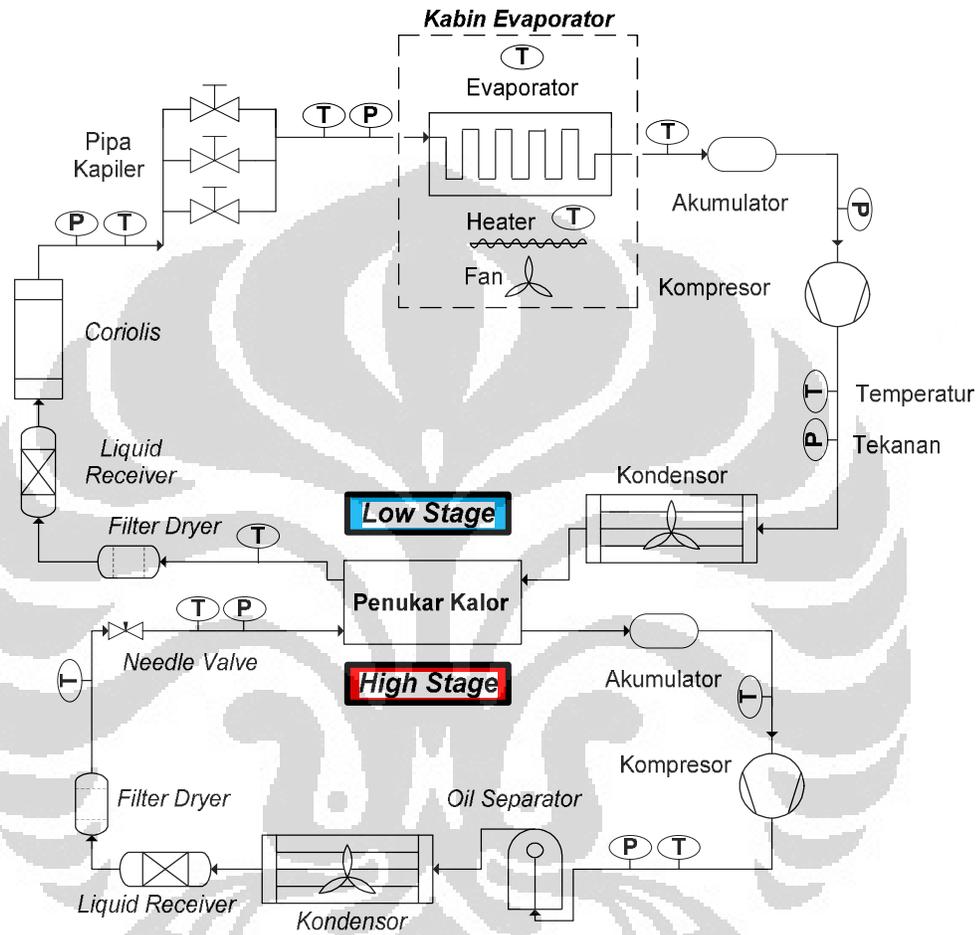
Pada sistem refrijerasi cascade yang digunakan dalam penelitian, penggunaan refrijeran alternatif ramah lingkungan, campuran azeotropis karbondioksida/ CO_2 (yang memiliki nilai $\text{ODP}=0$; $\text{GWP}=1$) dan refrijeran hidrokarbon ethane/ C_2H_6 (yang memiliki nilai $\text{ODP}=0$; $\text{GWP}=3$), adalah sebagai salah satu upaya mengurangi kerusakan ozon dan pemanasan global. Studi

pendahuluan simulasi dan eksperimen mesin pendingin cascade dua tingkat mengindikasikan campuran karbondioksida dan ethane mampu mencapai temperatur minimum hingga -80°C (Darwin et al., 2008). Namun demikian, temperatur minimum tersebut masih belum stabil. Hal ini diduga karena adanya perubahan komposisi saat refrijeran campuran karbondioksida dan ethane bersirkulasi dalam sistem refrijerasi (Darwin et al., 2010).



BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Dan Komponen Pengujian

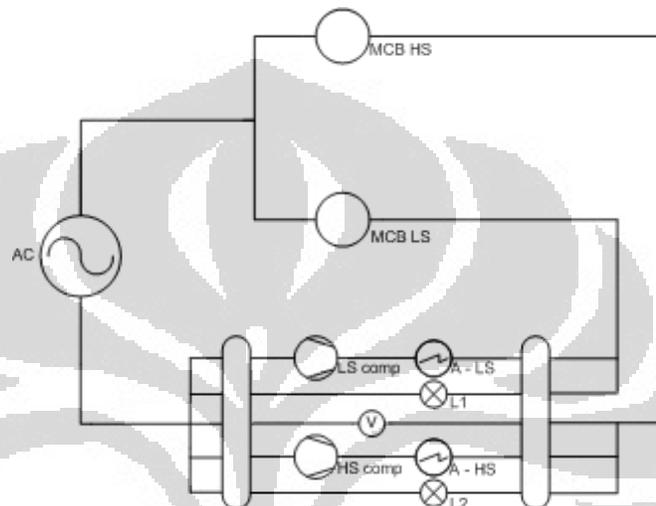


Gambar 3.1 Skematik Alat Pengujian Cascade

Dalam melakukan pengujian alat yang digunakan untuk menganalisa pengaruh beban pendinginan pada sistem refrijerasi *cascade* menggunakan sistem refrijerasi *cascade* yang berada di laboratorium pendingin lantai 3 (tiga) Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTM FTUI).

Gambar 3-1 menunjukkan skematik dari alat penguji dari sistem refrijerasi *cascade*. Pada *high stage* pemasangan alat ukur tekanan (*pressure transmitter*) dipasang pada 2 (dua) titik dan temperatur (*thermocouple*) masing-masing di 3 (tiga) titik dan untuk *low stage* pemasangan alat ukur tekanan (*pressure transmitter*) dipasang pada 4 (empat) titik dan temperatur (*thermocouple*) masing-

masing di 7 (tujuh) titik. Seluruh alat ukur baik alat ukur tekanan atau pun temperatur berbasis komputer dengan menggunakan *software* labview, penggunaan variasi pipa kapiler sebagai alat ekspansi, variasi beban pada sistem refrijerasi *cascade*, serta pemasangan sitrans FC siemens massflo mass 6000 yang digunakan untuk mengukur laju ukuran massa pada *low stage*.



Gambar 3.2 Wiring Diagram Pada Sistem Refrijerasi Cascade

Wiring diagram pada sistem refrijerasi *cascade* dapat dilihat pada gambar 3-2. 3 (tiga) *mini circuit breaker* (MCB) dipasang masing-masing sebagai *power* utama, kompresor *high stage*, dan kompresor *low stage*. Dimana arus yang terbaca pada amper meter merupakan arus dari masing-masing kompresor. *Power* utama untuk menjalankan seluruh sistem tergabung, setelah *power* utama ditekan pada control panel maka tombol yang aktif selanjutnya adalah kompresor pada bagian *high stage* dan oleh karenanya jika tombol kompresor *low stage* ditekan tanpa menyalakan kompresor *high stage* maka kompresor *low stage* tidak akan menyala, karena aliran listrik tidak langsung terhubung pada kompresor *low stage* melainkan melalui kompresor *high stage* terlebih dahulu.

Condensing Unit

Condensing Unit merupakan bagian dari sistem refrijerasi yang padanya terdapat kompresor, liquid receiver, kondensor.

- Kompresor merupakan bagian terpenting dari sistem refrijerasi, yaitu berfungsi untuk memompa refrijeran yang berbentuk uap dari evaporator sehingga menimbulkan perbedaan tekanan dan mengalirkan refrijeran dalam sebuah sistem refrijerasi.
- *Liquid receiver* adalah alat yang berfungsi sebagai penampung refrijerant dari kondensor dan memastikan bahwa yang keluar adalah refrijerant berfase cair.
- Kondensor berfungsi sebagai media pemindah kalor dari refrijerant ke lingkungan untuk mencairkan uap refrijerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dari kompresor.



Gambar 3.3 Condensing unit High Stage



Gambar 3.4 Condensing unit Low Stage

Tabel 3.1 Spesifikasi Kompresor pada *Condensing Unit*

Spesifikasi	High Stage	Low Stage
Merk/Model :	Tecumseh / CAJ9480T	Tecumseh / CAJ9480T
Tipe :	Hermatik	Hermatik
Daya :	3/4 hp	3/4 hp
Refrijeran :	R22	R22
Voltage :	220V - 240V/ 50Hz	220V - 240V/ 50Hz
Pelumas :	Sintetis	Sintetis
Dimensi :	Panjang : 23 cm Lebar : 15 cm Tinggi : 30 cm	Panjang : 23 cm Lebar : 15 cm Tinggi : 30 cm

Tabel 3.2 Spesifikasi Kondensor pada *Condensing Unit*

Spesifikasi Kondenser	
Tipe :	<i>Shell and coils water cooled condenser</i>
Material :	Pipa tembaga, Polycarbonat
Dimensi :	Panjang : 32 cm Lebar : 9 cm Tinggi : 28 cm

Gambar 3.5 Kondensor pada *Condensing Unit*

Cascade Heat Exchanger

Cascade heat exchanger atau alat penukar kalor merupakan komponen dari sistem refrijerasi *cascade* dalam mentransfer kalor dari *low stage* ke *high stage*, dimana pada *high stage* alat ini sebagai evaporator, sedangkan untuk pada *low stage* alat ini sebagai kondenser. Berikut spesifikasi alat penukar kalor yang digunakan pada proses pengujian sistem refrijerasi *cascade*.

Tabel 3.3 Spesifikasi *Heat Exchanger*

Spesifikasi Heat Exchanger		
Tipe	:	<i>Double pipe</i>
Material	:	Pipa tembaga
Dimensi	:	Panjang : 32 cm
	:	Lebar : 19 cm
	:	Tinggi : 27,5 cm



Gambar 3.6 Cascade Heat Exchanger

Alat Ekspansi

Dalam pengujian yang dilakukan, alat ekspansi yang digunakan adalah *needle valve*. Penggunaan *needle valve* ini didasari karena tekanan *suction* LS dibutuhkan lebih besar dari tekanan lingkungan agar refrijerasi yang akan di uji dapat masuk dalam jumlah dan tekanan yang cukup untuk pengujian konsentrasi komposisi.

Tabel 3.4 Spesifikasi Alat Ekspansi

Spesifikasi	High Stage	Low Stage
Tipe :	Swagelok	Kapiler 1, 3, 6 meter
Diameter :	3/8 inch	0,064 inch



Gambar 3.7 Alat Ekspansi

Filter Dryer

Filter dryer merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menyaring partikel-partikel kecil seperti serpihan logam, plastik, dan debu yang dapat membahayakan bagi kerja kompresor. Selain itu alat ini juga bermanfaat untuk menangkap uap air yang dapat menghambat proses perpindahan kalor serta membahayakan kompresor, *filter dryer* yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

Gambar 3.8 *Filter Dryer*

Tabel 3.5 Spesifikasi *Filter Dryer*

Spesifikasi Filter Dryer	
Tipe	: Emerson/EK 163
Refrijeran	: CFC, HCFC dan HFC
Dimensi	: Panjang : 17,46 cm Lebar : 6,67 cm

Akumulator

Akumulator merupakan sebuah bejana yang berfungsi untuk memastikan bahwa tidak ada refrijeran yang masuk ke dalam kompresor dengan fasa cair. Karena cairan merupakan fluida tak mampu mampat, masuknya cairan kedalam kompresor dapat menyebabkan kerusakan pada kompresor. Pada sistem akumulator ditempatkan diantara alat ekspansi dan *suction line* kompresor, kapasitas akumulator diharuskan minimal 50% dari kapasitas refrijeran dalam sistem.



Gambar 3.9 Akumulator

Tabel 3.6 Spesifikasi *Akumulator*

Spesifikasi Akumulator	
Tipe	: Emerson/A-AS 464
Refrijeran	: CFC, HCFC dan HFC
Dimensi	: Panjang : 31,5 cm Diameter : 10,5 cm

Oil separator

Oil separator berfungsi untuk memastikan pelumas yang digunakan kompresor untuk kembali ke *crankcase* kompresor. Sebelum masuk ke kondenser, campuran pelumas dan refrijeran masuk ke *inlet oil separator* dan melalui serangkaian *buffle* yang menyebabkan partikel pelumas terkumpul kemudian jatuh ke bagian bawah *oil separator*. Pelumas yang telah dipisahkan dari refrijeran dikembalikan ke *crankcase* dengan prinsip perbedaan tekanan pada *oil separator* dan *crankcase*. Karena tekanan pada *oil separator* lebih tinggi dibandingkan tekanan pada *crankcase*. *Oil separator* pada sistem terletak diantara *discharge line* kompresor dan kondenser. Pada alat uji ini digunakan 2 (dua) unit *oil separator* pada *high stage* dan *low stage*.



Gambar 3.10 Oil Separator

Tabel 3.7 Spesifikasi Oil Separator

Spesifikasi Oil Separator	
Tipe	: Asian First Brand
Refrijeran	: CFC, HCFC dan HFC
Dimensi	: Panjang : 26,04 cm Diameter : 10,16 cm

Pipa Tembaga

Pipa tembaga merupakan medium tempat mengalirnya refrijeran pada sistem dari satu bagian ke bagian lainnya. Pipa tembaga dipilih dengan pertimbangan bahwa material ini memiliki konduktivitas termal yang cukup tinggi sehingga memiliki perpindahan panas yang cukup baik.



Gambar 3.11 Pipa Tembaga

Pipa tembaga yang digunakan merupakan pipa tembaga pabrikan Australia. Pertimbangan dalam pemilihan pipa tersebut karena pipa Australia memiliki sifat fisik yang lebih kuat dibanding merk lain. Dalam percobaan ini digunakan 2 (dua) macam diameter pipa tembaga, yaitu diameter 3/8 inch dan 1/4 inch.

Shut Off Valve



Gambar 3.12 Shut Off Valve

Penggunaan *shut off* dalam percobaan ini diperlukan dalam *charging system* atau proses pemasukan refrijeran. Penggunaan *shut off valve* dapat memudahkan dalam proses pemasukan refrijeran. *Shut off valve* yang digunakan berukuran 1/4 inch hal ini disesuaikan dengan drat yang ada pada selang refrijeran yang digunakan. Penggunaan *shut off valve* lainnya adalah pada variasi kapiler. Hal ini bertujuan agar dalam proses pengujian tidak bongkar pasang. Bongkar pasang pada sistem mengakibatkan kehilangan banyak refrijeran. Selain itu keuntungannya dalam menggunakan *shut off valve* adalah selama pengujian variasi pipa kapiler, kandungan refrijeran dalam sistem memiliki komposisi yang sama.

Kabin (evaporator)

Pada pengujian ini kabin yang digunakan didesain menggunakan pipa PVC dengan diameter 3 (tiga) inch yang kemudian dilapis menggunakan *polyurethane* dengan ketebalan $\pm 0,5$ inch. Di dalam kabin ini terdapat evaporator yang berfungsi untuk mendinginkan temperatur dalam kabin. Temperatur pada kabin kemudian dimonitor menggunakan termokopel yang dihubungkan pada komputer.



Gambar 3.13 Evaporator *Low Stage*

Tabel 3.8 Spesifikasi Evaporator

Spesifikasi Evaporator	
Tipe	: <i>Shell and Coil</i>
Dimensi	Panjang 37,5 cm
	: Lebar 15,5 cm
	Tinggi 6 cm
Material	: Tembaga

Alat Ukur

Untuk mendapatkan unjuk kerja dari sistem refrijerasi *cascade* maka pada sistem dipasang beberapa alat ukur yang diperlukan. Berikut adalah spesifikasi alat ukur yang digunakan pada pengujian sistem refrijerasi *cascade*.

- **Pressure Gauge**

Tekanan gage (*pressure gauge*) ini dipasang dengan tujuan memudahkan dalam pengetesan kebocoran dan pemvakuman sistem.

Tabel 3.9 Spesifikasi *Pressure Gauge*

Spesifikasi Pressure Gauge	
Range	: High pressure : 0 – 35 bar Low pressure : 0 – bar
Gambar	: 

Gambar 3.14 *Pressure Gauge*

- **Pressure Transmitter**



Gambar 3.15 *Pressure Transmitter*

Tabel 3.10 Spesifikasi *Pressure Transmitter*

Spesifikasi Pressure Transmitter	
Pabrikan	: General electric
Tipe	: Druck PTK 1400
Range	: 0 – 40 bar absolute
Analog Output	: 4 – 20 mA
Akurasi	: 0.15 %

Untuk mengukur tekanan yang bekerja pada siklus refrigerasi *cascade*, *pressure transmitter* diletakan pada 4 (empat) titik. Untuk mengukur tekanan di tiap titik kita menggunakan *pressure transmitter* yang datanya kemudian di informasikan melalui labview. *Pressure transmitter* ditempatkan di 4 (empat) titik *high stage* dan *low stage*. Titik-titik tersebut yaitu pada *discharge line*, *suction line*, keluaran kondenser, dan keluaran dari alat ekspansi. Kemudian data hasil pembacaan dari *pressure transmitter* diinformasikan oleh labview.

- **Termokopel**

Untuk mengetahui temperatur yang ada pada sistem, alat ukur yang digunakan adalah termokopel tipe K dengan sensor yang masuk ke dalam refrigerasi. Kemudian data yang terbaca pada sensor termokopel di konversikan oleh perangkat lunak labview untuk memudahkan dalam proses pengambilan dan penyimpanan data.



Gambar 3.16 Termokopel

Tabel 3.11 Spesifikasi Termokopel

Spesifikasi Termokopel	
Tipe :	K
Range :	100 ⁰ C - 110 ⁰ C
Akurasi :	+/- 1 ⁰ C

- **Coriolis**

Alat ini digunakan untuk mengukur laju massa dari refrijeran pada *low stage*. Coriolis ini dapat digunakan untuk mengukur laju masa fasa cair dan uap/gas. Alat ini ditempatkan sebelum evaporator cascade.

Tabel 3.12 Spesifikasi Coriolis

Spesifikasi Coriolis	
Model :	SIEMENS SITRANS F C MASSFLO MASS 6000
Akurasi :	<i>For liquid and gas, ≤ 0.1 % of rate</i>
Gambar :	

Gambar 3.17 Coriolis

Komputer

Komputer merupakan alat penunjang dalam pengujian sistem refrijerasi *cascade*. Komputer digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan penyimpan data pengujian. Komputer yang digunakan memiliki port USB dan terinstal perangkat lunak konversi tegangan dan ampere (Labview 8.5).

Tabel 3.13 Spesifikasi Komputer

Spesifikasi Komputer	
Model	: Intel Pentium 4 Dual Core CPU E5400 2,7 GHz
Tipe	: 2 GB of RAM
Jenis	: Microsoft XP service pack 2
Output	: 4 port USB
Software	: Notepad, NI dan Labview 8.5

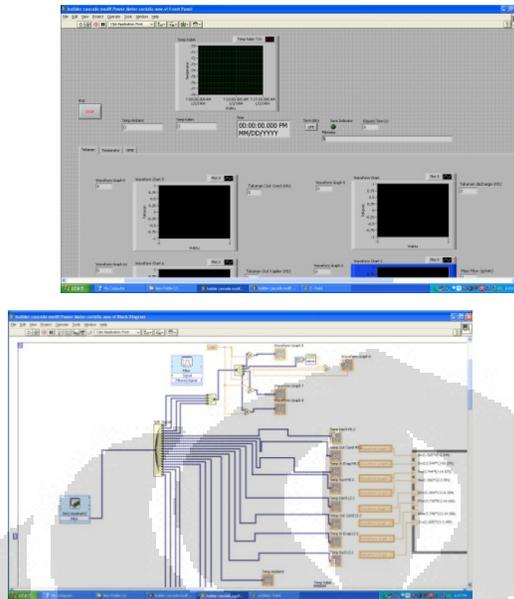


Gambar 3.18 Unit Komputer

Selain komputer, berikut adalah perangkat lain yang terhubung sebagai alat penunjang pengujian.

- **Perangkat Lunak Labview**

Dalam memudahkan dalam pembacaan dan pengambilan data baik itu data temperatur, tekanan maupun data yang dihasilkan *power meter* maka dalam pengujian ini menggunakan *software* labview, dengan ini kita dapat melakukan pengambilan data secara otomatis.



Gambar 3.19 Tampilan *front panel* dan *block diagram* labview

Pada gambar 3-20 diatas merupakan tampilan dari perangkat lunak labview. *Front panel* merupakan menu pada labview yang berfungsi menampilkan informasi yang diterima dari data akuisisi. Informasi yang didapatkan dapat berupa grafik ataupun informasi numerik dari sistem cascade yang dibuat diagram alirnya pada *block diagram*.

- **Data Akuisisi**

National instrument merupakan data akuisisi yang digunakan untuk melakukan pengukuran dalam sistem ini, dalam pengujian ini digunakan 4 (empat) panel dimana 1 (satu) panel dengan tipe 9211 untuk *pressure transmitter* dan 3 (tiga) panel untuk termokopel. Nantinya data dari *national instrument* ini akan di konversikan ke dalam bentuk digital dengan bantuan *software* labview, sehingga data yang kita peroleh, terukur dengan akurat.

Tabel 3.14 Spesifikasi National Instrument

Spesifikasi National Instrument	
Model :	9211 dan 9203
Tipe :	4 panel
Dimensi :	Panjang 9 cm; Lebar 3 cm; Tinggi 7 cm
Gambar :	 <p style="text-align: center;">Gambar 3.20 National Instrument</p>

Power supply

Power supply digunakan untuk memberikan *supply* tegangan pada instrumen dan alat ukur. Pada *cascade*, *supply* tegangan diperlukan untuk memberikan tegangan pada data akusisi dan *pressure transmitter*. Besar tegangan *supply* untuk kedua komponen tersebut tidak boleh melebihi tegangan maksimal komponen.



Gambar 3.21 Power Supply

Power supply yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Tabel 3.15 Spesifikasi *Power Supply*

Spesifikasi Power Supply	
Model :	Nagoya
Tipe :	D30 2T
Jenis :	Digital dual output power supply
Output :	Arus (A) dan tegangan (V)

Refrijeran

Refrijeran R290 merupakan fluida kerja yang digunakan pada sisi *high stage*. Hal ini dikarenakan pada pengujian sebelumnya R290 dinilai cukup optimal dalam sistem refrijerasi *cascade* yang digunakan. Sedangkan untuk *low stage* fluida yang digunakan adalah R744 dan R170 dengan *high purity* (99,99%).



Gambar 3.22 Tabung Refrijeran R290



Gambar 3.23 Tabung Refrijeran R744 dan R170

3.2 Tes Kebocoran

Setelah semua sistem pemipaan serta komponennya terpasang, maka terlebih dahulu dilakukan tes kebocoran dengan tujuan agar pada saat dijalankan sistem berjalan dengan baik tanpa adanya kebocoran. Kebocoran pada sistem dapat menurunkan performa dari sistem tersebut. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Unit dalam keadaan mati (*off*).
2. Sistem diisi dengan gas nitrogen hingga tekanan ± 15 bar.
3. Sistem pemipaan di tes kebocoran dengan menggunakan busa sabun.
4. Tandai setiap tempat yang menjadi indikasi kebocoran, untuk dapat diperbaiki.
5. Perbaiki kebocoran.
6. Tandai tekanan yang ada, kemudian tunggu hingga beberapa jam, jika tekanan tersebut berkurang maka ulangi dari langkah ke-3 hingga tekanan dipastikan tidak ada penurunan lagi.

3.3 Vacuum System

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran dalam sistem maka proses selanjutnya adalah melakukan evakuasi sistem menggunakan pompa vakum, langkah ini dimaksud untuk memastikan sistem tidak mengandung uap air. Langkah-langkah dalam *vacuum system* adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan pada saat unit sistem dalam keadaan mati (*off*).
2. Hubungkan selang *manifold gauge* pada suction kompresor dan pompa vakum, pastikan tidak terjadi kebocoran dengan memberikan busa sabun pada katup masuk sistem dan katup *manifold gauge*.
3. Setelah dipastikan tidak terjadi kebocoran kemudian nyalakan pompa vakum hingga pada jarum pada *pressure gauge* menunjukkan angka dibawah 0 bar (lakukan ± 30 menit).
4. Setelah itu tutup katup sistem.
5. Tutup katup *manifold gauge*.
6. Matikan pompa vakum.



Gambar 3.24 Pompa Vakum

3.4 Charging System

Setelah proses evakuasi sistem dengan menggunakan pompa vakum selesai maka dilanjutkan dengan pengisian refrijeran ke dalam sistem sesuai dengan kebutuhan. Prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Unit sistem dalam keadaan mati (*off*).
2. Hubungkan selang manifold gauge pada suction kompresor dan tabung refrijeran yang sebelumnya telah ditimbang terlebih dahulu.



Gambar 3.25 Timbangan Digital

3. *Shut off valve* pada sistem dalam keadaan tertutup, kemudian buka katup pada refrijeran.
4. *Flashing* refrijeran beberapa saat.
5. Kemudian pastikan selang manifold gauge pada suction kompresor terpasang dengan kencang dan tidak ada kebocoran.

6. Cek kebocoran sebelum melakukan pengisian dengan memberikan busa sabun pada katup masuk sistem, katup tabung dan katup *manifold gauge*.
7. Buka perlahan-lahan *shut off valve* sambil memperhatikan pembacaan timbangan, sesuai dengan berat refrijeran yang masuk kedalam sistem tercapai.

3.5 Pemberian Beban Heater

Pemberian beban pendinginan pada kabin evaporator *low system* dilakukan dengan mengatur *dimmer* dan disesuaikan dengan besarnya Watt yang diinginkan.



Gambar 3.26 Dimmer



Gambar 3.27 Amperemeter

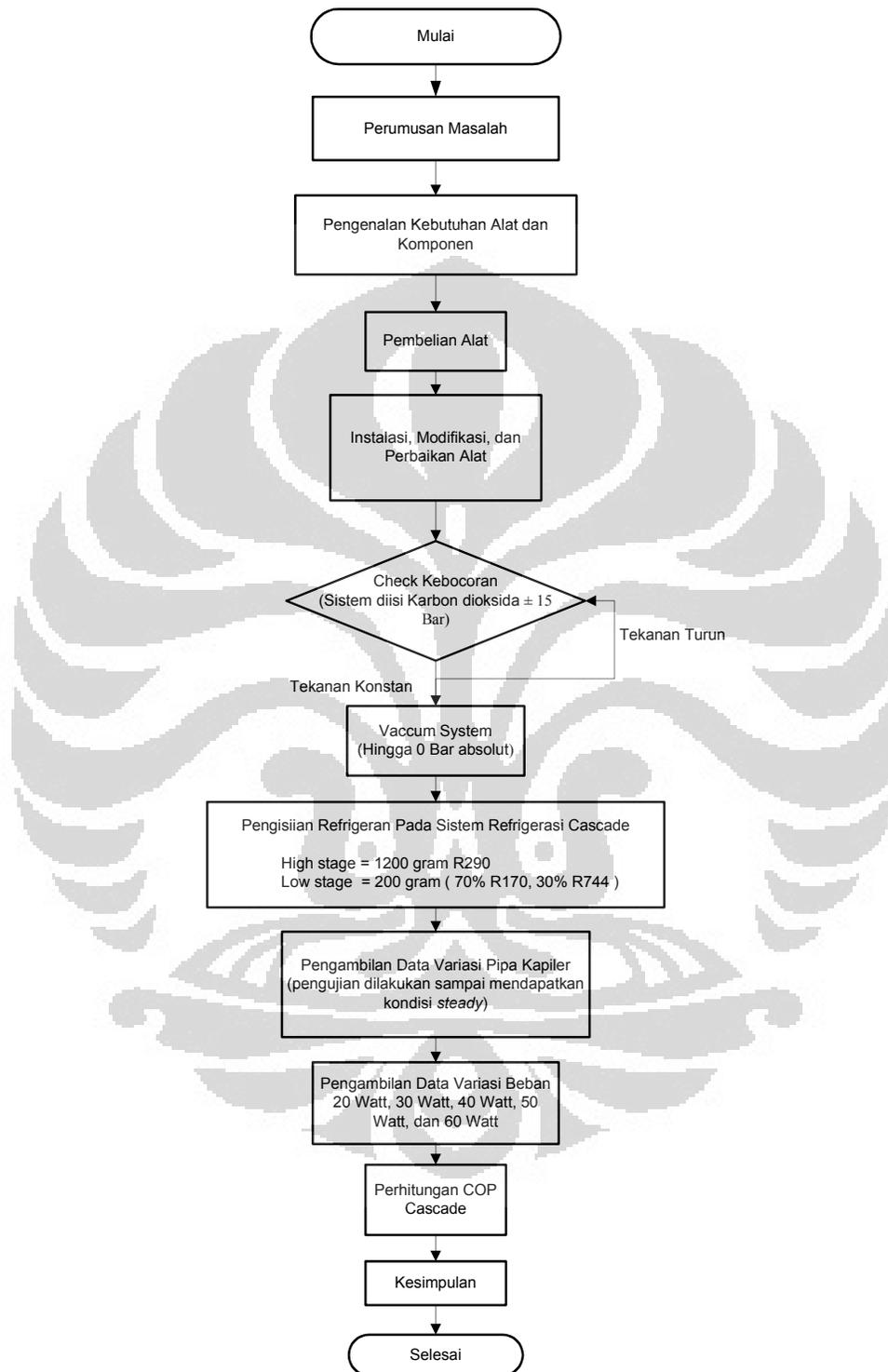
Tabel 3.16 Spesifikasi *Ampere meter*

Spesifikasi Ampere Meter	
Model :	HIOKI
Tipe :	3286-20
Jenis :	<i>Use as a single-phase power meter or power factor meter (3 kW to 660 kW)</i>
Power :	<i>Stacked alkaline battery (6LR61, 6LF22)</i>

Amperemeter digunakan untuk mengukur ampere pada heater sekaligus daya heater yang digunakan. Prosedur untuk memberikan beban *heater* pada kabin evaporator sistem refrijerasi cascade adalah sebagai berikut :

1. Tunggu sampai grafik pada Labview menunjukkan pada kondisi yang datar dan tidak ada perubahan atau dalam keadaan *steady state*
2. Jepit salah satu kabel *heater* untuk membaca seberapa besar ampere yang terbaca, amper terbaca secara induksi oleh amperemeter.
3. Jepit masing-masing kabel *heater* oleh penjepit amperemeter yang terhubung langsung dengan kabel pada amperemeter.
4. Besarnya daya yang diberikan pada *heater* dapat dilihat pada amperemeter.
5. Setelah sistem dipastikan dalam keadaan *steady state* lalu putar *dimmer* sehingga display pada panel menunjukkan angka seberapa besar tegangan yang diberikan pada *heater*.
6. Atur putaran *dimmer* hingga mendapatkan daya yang diinginkan. Masing-masing daya dalam pengujian ini 20, 30, 40, 50, dan 60 Watt.

3.6 Metode Pengambilan Data



Gambar 3.28 Skema Diagram Metodologi Penelitian Pengaruh Beban Pendinginan Terhadap Kerja sistem Refrijerasi Cascade

Langkah Pengujian:

1. Nyalakan computer, pastikan DAQ terhubung pada CPU computer.
2. Buka program perangkat lunak labview.
3. Jalankan program labview.
4. Nyalakan *High stage*.
5. Tunggu hingga temperatur keluaran kapiler stabil.
6. Setelah temperatur keluaran kapiler *High state* stabil nyalakan *Low state*.
7. Tunggu hingga temperatur masuk evaporator *Low state* dan temperatur kabin stabil.
8. Klik save (menyimpan data pada kondisi stabil).
9. Tunggu hingga 10 menit lalu.
10. Pada saat memberikan pembebanan sesuaikan beban yang akan diberikan (pada pengujian ini pembebanan diberikan sebesar 20, 30, 40, 50, dan 60 Watt).
11. Tunggu hingga temperatur keluar kapiler *High stage*, temperatur masuk evaporator dan temperatur kabin *Low state* stabil setelah itu klik save.
12. Pengambilan data dilakukan selama 10 (sepuluh) menit pada kondisi stabil.
13. Setelah pengambilan data selesai lalu matikan *low stage*, *high stage*, dan *power* utama secara berurutan.
14. Matikan komputer.
15. Pengujian selesai.

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Refrigran Sirkuit Temperatur Rendah

Pada percobaan variasi beban pendinginan terhadap sistem refrijerasi cascade menggunakan komposisi campuran refrijeran 60 gram karbon dioksida (R744) dan 140 gram ethane (R170) untuk *low stage*. Komposisi massa R744/R170 yang dimasukkan ke dalam *low stage*, yaitu apabila dinyatakan dalam fraksi massa adalah karbon dioksida 30 % dan ethane 70 %, (Darwin syaka, et al) dimana komposisi ini didapat dari hasil simulasi penelitian sebelumnya, sedangkan untuk *high stage* menggunakan 1200 gram propane (R290).

Properties dari karbondioksida dan ethane sendiri adalah (sumber: REFPROP 8.0):

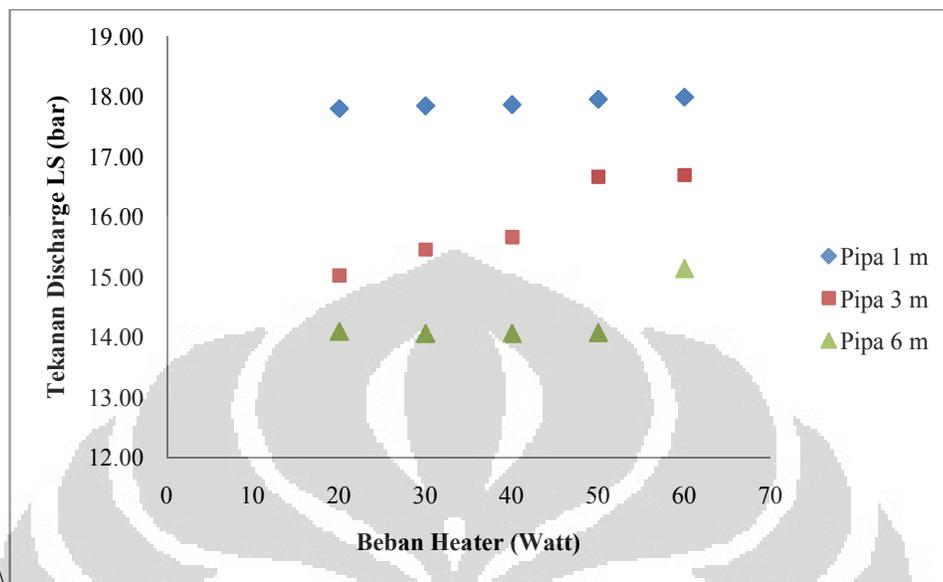
Tabel 4.1 Critical Properties Refrijeran Campuran R744/R170

<i>Estimated Critical Properties</i>	
<i>Temperatur</i>	17,7 [°C]
<i>Pressure</i>	57,7 [bar]
<i>Density</i>	308,4 [kg/m ³]

Tabel 4.2 Parameter Dari Karbondioksida Dan Ethane

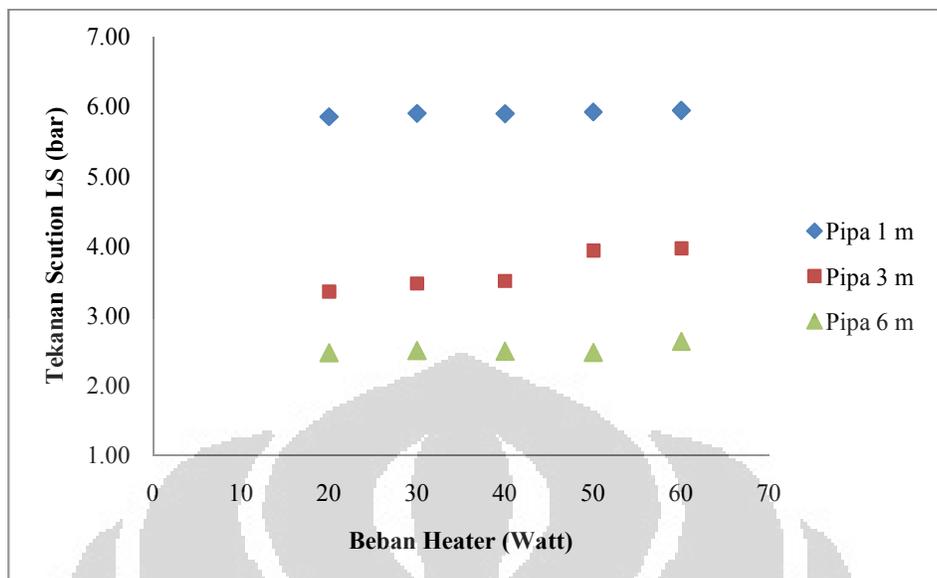
	Karbondioksida	Ethane
<i>Critical Temperature</i>	30,9 [°C]	32,2 [°C]
<i>Critical Pressure</i>	73,8 [bar]	48,7 [bar]
<i>Critical Density</i>	467,6 [kg/m ³]	206,2 [kg/m ³]
<i>Minimum Temperature</i>	-56,6 [°C]	-182,8 [°C]
<i>Maximum Temperature</i>	1726,9 [°C]	401,9 [°C]
<i>Maximum Pressure</i>	8000 [bar]	9000 [bar]
<i>Maximum Density</i>	1638,9 [kg/m ³]	674,2 [kg/m ³]

4.2 Tekanan dan Temperatur sirkuit rendah



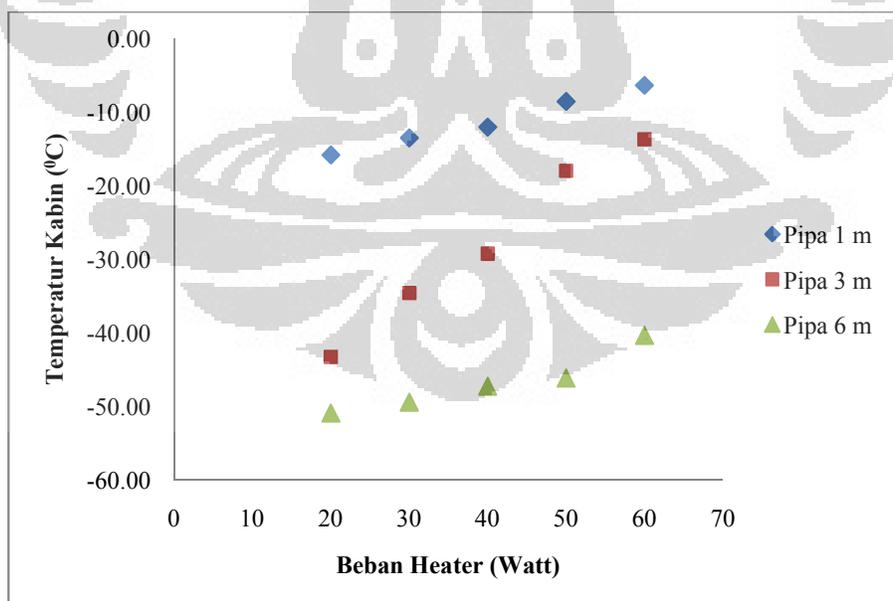
Gambar 4.1 Tekanan *Discharge LS* terhadap Beban *Heater*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa tekanan pada *discharge ls* semakin rendah dengan adanya penambahan panjang pipa kapiler. Pada pipa kapiler dengan panjang 1 meter terlihat kenaikan tekanan sisi keluar kompresor yang tidak terlalu signifikan, namun terlihat jelas pada pipa kapiler dengan panjang 3 meter dan pipa 6 meter, dengan bertambahnya beban *heater* yang diberikan pada kabin evaporator maka semakin bertambah pula tekanannya. Pada pipa kapiler dengan panjang 6 meter tekanan yang dicapainya sebesar 14,06 bar.



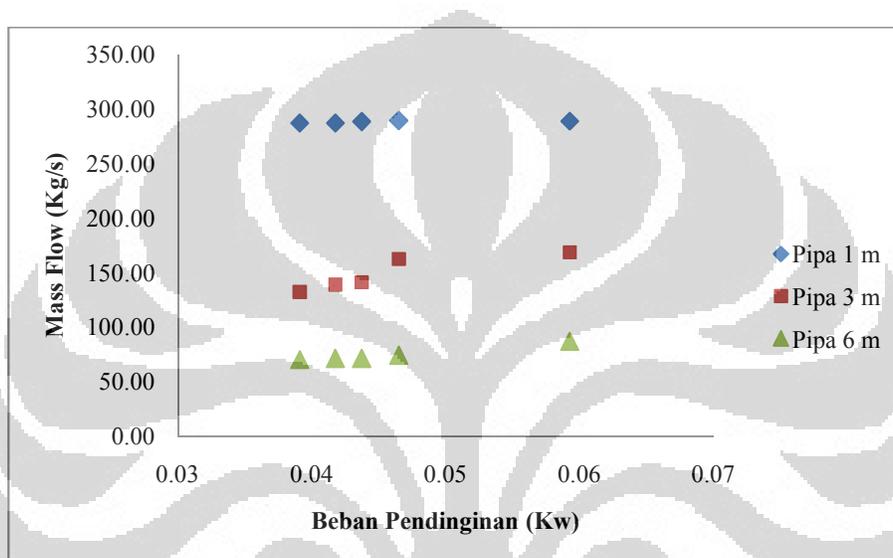
Gambar 4.2 Tekanan Suction LS terhadap Beban Heater

Pada gambar 4.2 diatas menunjukkan tekanan pada sisi masuk kompresor pada *Low System*. Tekanan semakin rendah dengan adanya penambahan panjang pipa kapiler. Terlihat adanya penurunan tekanan dari beban heater 30 Watt dari 2,50 bar ke 2,48 bar. Tekanan ini turun disebabkan beban heater yang tidak stabil yang mempengaruhi tekanan pada evaporator kabin.



Gambar 4.3 Temperatur kabin terhadap Beban Heater

Penurunan tekanan *suction* pada *low system* akan berpengaruh terhadap temperatur di dalam kabin. Terlihat dari gambar 4.3 bahwa penurunan tekanan *suction* akan diikuti penurunan temperatur kabin evaporator. Pada pipa kapiler berdiameter 0,064 inch dengan panjang 3 meter terjadi kenaikan temperatur yang sangat signifikan hal ini disebabkan karena tekanan pada sisi masuk dan sisi keluar kompresor yang meningkat.



Gambar 4.4 Mass Flow terhadap Beban Pendinginan

Beban pendinginan pada sistem refrijerasi cascade berpengaruh pada laju aliran massanya. Semakin bertambahnya beban pendinginan pada sistem refrijerasi cascade maka semakin bertambah pula laju aliran massanya, namun dengan penambahan panjang pipa kapiler menyebabkan laju aliran massa menjadi semakin rendah.

4.3 Pengaruh Beban Pendinginan Pada Kerja Sistem Refrijerasi Cascade

Setelah mendapatkan karakteristik dari kerja sistem maka dapat dilakukan analisa terhadap kinerja sistem refrijerasi cascade dan persamaan-persamaan yang digunakan untuk analisa termodinamikanya adalah sebagai berikut

Kapasitas evaporasi mesin refrijerasi cascade didefinisikan sebagai :

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (4.1)$$

Daya yang dibutuhkan kompresor untuk sirkuit temperatur rendah yaitu :

$$\dot{W}_r = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (4.2)$$

Laju perpindahan kalor yang terjadi di penukar kalor cascade dinyatakan sebagai :

$$\dot{Q}_{cas} = \dot{m}_t(h_5 - h_8) = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \quad (4.3)$$

sehingga dari persamaan diatas, rasio laju aliran massa refrijeran ditentukan sebagai :

$$\frac{\dot{m}_t}{\dot{m}_r} = \frac{h_2 - h_3}{h_5 - h_8} \quad (4.4)$$

Daya yang dibutuhkan untuk sirkuit temperatur tinggi :

$$\dot{W}_t = \dot{m}_t(h_6 - h_5) \quad (4.5)$$

dan, kalor yang dibuang ke lingkungan oleh kondenser yaitu :

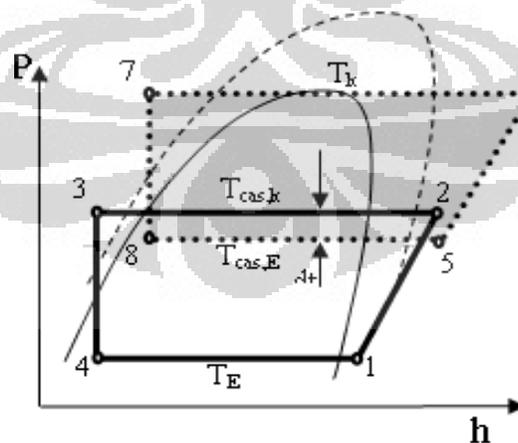
$$\dot{Q}_k = \dot{m}_t(h_6 - h_7) \quad (4.6)$$

Sehingga Performa mesin refrijerasi cascade diukur menggunakan *Coefficient of Performance* (COP) :

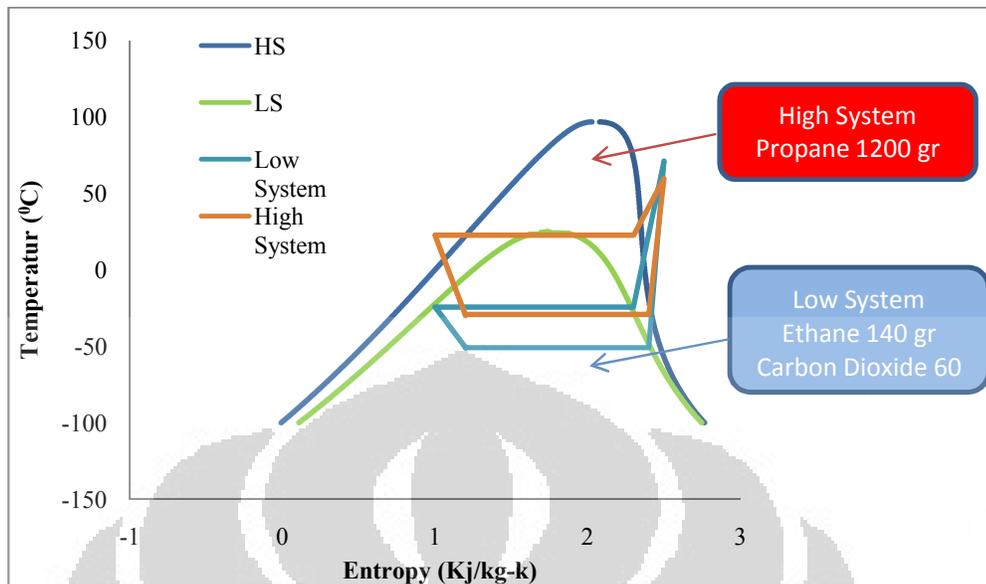
$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{W}_t + \dot{W}_r} \quad (4.7)$$

COP dapat juga dinyatakan dalam entalpy dengan mensubtitusikan persamaan (4.1),(4.2),(4.4) dan (4.6) ke dalam persamaan (4.8) maka, diperoleh :

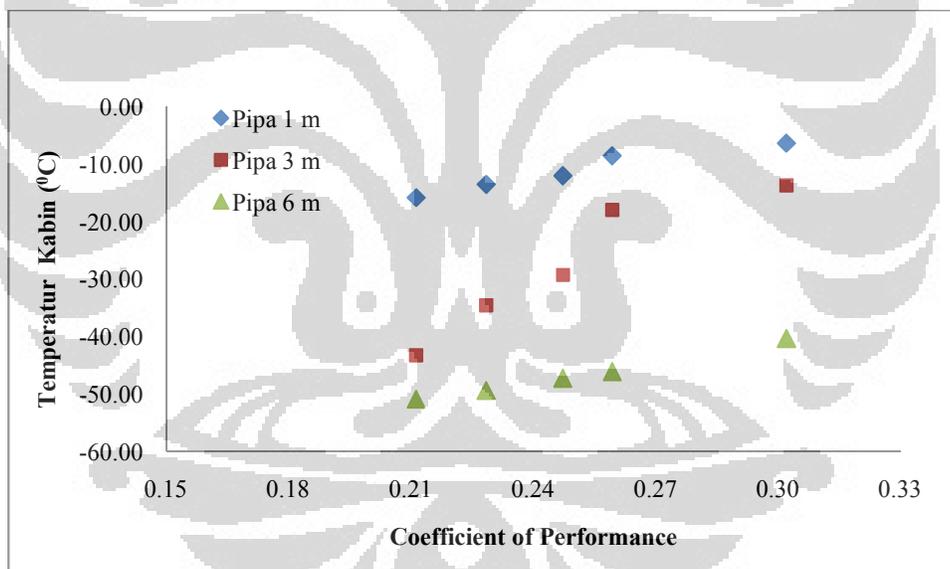
$$COP = \frac{(h_5 - h_8)(h_1 - h_4)}{(h_6 - h_5)(h_2 - h_3) + (h_5 - h_8)(h_2 - h_1)} \quad (4.8)$$



Gambar 4.5 Diagram PH Sistem Refrijerasi Cascade

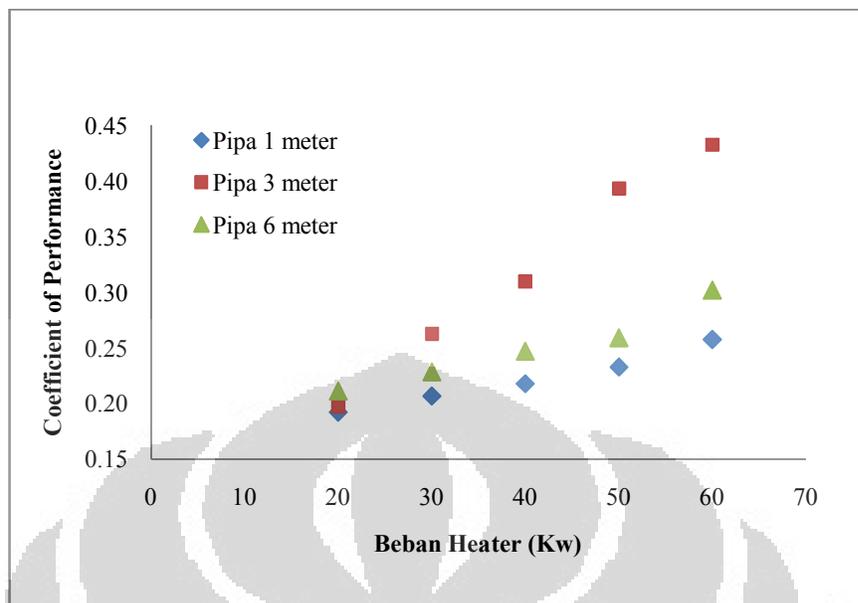


Gambar 4.6 Diagram TS Sistem Refrijerasi Cascade



Gambar 4.7 Diagram PH Sistem Refrijerasi Cascade

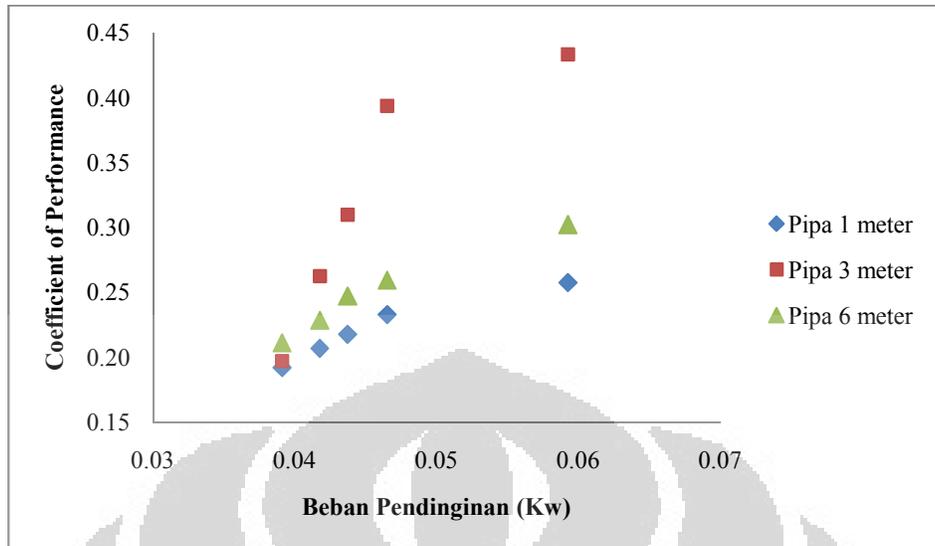
Nilai COP pada sistem refrijerasi cascade dengan campuran refrijeran ethane dan karbon dioksida terlihat pada temperatur kabin yang semakin meningkat yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Pada percobaan variasi panjang pipa kapiler dan variasi beban pendinginan temperatur terendah pada kabin evaporator sistem refrijerasi cascade dicapai pada percobaan pipa kapiler panjang 6 meter dengan beban 20 Watt temperatur yang dicapai adalah $-50,89^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.8 Perbandingan COP Terhadap Beban Pada Sistem Refrigrasi Cascade

Nilai COP yang dihasilkan dari masing-masing percobaan dapat dilihat dari gambar 4.7. Peningkatan atau penurunan beban *heater* didaam kabin evaporator maka akan mempengaruhi nilai COP dari sistem refrijerasi cascade, dimana nilai COP akan meningkat ketika beban *heater* bertambah dan sebaliknya. Dari tiga percobaan menggunakan pipa kapiler berdiameter 0,064 inch pada pipa dengan panjang 3 meter menunjukkan nilai COP yang tinggi dengan beban 60 Watt. Pada saat beban *heater* 20 Watt pada gambar 4.7 terlihat perbedaan nilai COP yang tidak signifikan, dimana pipa kapiler dengan panjang 6 meter menunjukan nilai COP yang paling tinggi, yaitu 0,21. Pada beban *heater* 30, 40, 50 dan 60 terlihat nilai COP pada pipa kapiler panjang 3 meter semakin meningkat, dikarenakan nilai entalpi yang dicapainya semakin besar.

Beban *heater* yang diberikan pada kabin evaporator masih mengalami banyak rugi-rugi kalor yang disebabkan oleh isolasi pada kabin, rugi-rugi kalor ini berdampak pada beban pendinginan yang meningkat. Akibat dari kerugian kalor ini pada beban heater 20 Watt menyebabkan beban pendinginan meningkat menjadi sekitar 40 Watt dan rugi-rugi kalor ini terjadi pada setiap pemberian beban *heater*.



Gambar 4.9 Pengaruh Beban Pendinginan Terhadap Laju Aliran

Berdasarkan percobaan dari masing-masing panjang pipa kapiler terlihat pada gambar 4.9 dimana beban pendinginan yang semakin meningkat menyebabkan nilai COP pada masing-masing percobaan meningkat juga. Nilai COP yang paling tinggi dicapai oleh pipa kapiler dengan panjang 3 meter dengan nilai 0,43 pada beban pendinginan sebesar 0,16 kW, hal ini diduga pada saat memberikan beban *heater* tidak stabil. Ketidakstabilan pada saat memberikan beban pada *heater* disebabkan oleh tegangan pada *heater* yang sangat fluktuatif.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Variasi pipa kapiler menghasilkan perbedaan temperatur pada alat penukar kalor.
2. Variasi panjang pipa kapiler memberikan pengaruh yang signifikan terhadap temperatur evaporasi *low stage*.
3. Temperatur evaporasi *low stage* terendah pada pengujian mencapai temperatur $-50,89^{\circ}\text{C}$ dengan beban 20 watt dan pada pipa kapiler panjang 6 meter.
4. Nilai COP yang terbaik dari hasil pengujian variasi panjang pipa kapiler berdiameter 0,064 inch dengan panjang 1, 3, dan 6 meter dengan variasi beban terhadap kabin evaporator *low stage* terdapat pada pipa kapiler dengan panjang pipa 3 meter pada beban pendinginan 0,16 kW dengan beban *heater* 60 Watt.

5.2 Saran

1. Proses *charging* merupakan hal yang sederhana tapi sulit untuk dilakukan, karena menyangkut jumlah komposisi yang ada dalam sistem. Oleh karena itu dalam proses *charging system* harus berhati-hati dalam melakukannya.
2. Performa dari sebuah sistem turut dipengaruhi oleh *availability* dari komponen-komponennya, sehingga perlu diperhatikannya kondisi komponen-komponen yang ada dalam sistem refrijerasi yang dapat mempengaruhi dari unjuk kerja sistem.
3. Pemasangan alat ukur tekanan pada sistem disarankan agar diberi jarak dari aliran refrijeran yang ada pada sistem agar terhindar dari kerusakan yang disebabkan temperatur kerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Handbook, 2006, *Refrigeration System and Applications (SI)*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineer, Atlanta, Georgia.
- Cengel. Yunus.A, Boles. Michael, 1998, "*Thermodynamics An Engineering Approach*", Third Edition, Mcgraw-Hill, International Edition
- Darwin Rio Budi Syaka, Nasruddin, 2008, *Analisa Termodinamika Pemilihan Refrijeran Pada Mesin Refrijerasi Cascade*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)-VII, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, 4 – 6 November.
- Gettu. H.M, Bansal. P.K, 2008, *Thermodynamic analysis of an R744-R717 cascade refrigeration system*, International Jurnal Of Refrigeration, 31 (2008):45-54
- Hosöz, Murat, 2004, *Performance Comparison of Single-Stage and Cascade Refrigeration System Using R134a as The Working Fluid*, Turkish J. Eng. Env. Sci., 29 (2005), 285 – 296
- <http://www.Wikipedia.org/Carbondioxide.htm>, 4 September 2010
- <http://www.Wikipedia.org/Biomedical.htm>, 4 September 2010
- [http://www.Wikipedia.org/heat exchanger.htm](http://www.Wikipedia.org/heat%20exchanger.htm), 4 September 2010
- Nasruddin, Dedeng Rachmat, Lubi Rahadiyan, 2009, *Utilization of CO2/Ethane Mixture as a New Alternative of Eco-Friendly Refrijerant for Low Temperature Applications*, International Conference Of Saving Energy In Refrigeration And Air-Conditioning, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, Depok, January 14 – 17
- NIST Standard Reference Database 23, 1998. NIST Thermodynamics and Transport Properties of Refrijerans and Refrijeran Mixtures, REFPROP, Version 8.0.
- Refrigeration And Air Conditioning*, 2008, EE Indian Institue of Technology, Kharagpur, India